

تأليف :

ب. ماكدونالد ر. أي. إدرواردز جي. إف. دي. قرينهالش

سي. أي. مورقان

ترجمة:

د. إبراهيم صالح ميلاد

أستاذ تغذية الحيوان المشارك - قسم الإنتاج الحيواني / كلية الزراعة





منشورات جامعة عمر المختار

البيضاء

2022

تغذية حيوان

تأليف:

ب. ماكدونالد **ر. أي. إدواردز** **جي. إف. دي. قرينهالش**

سي. أي. مورقان

ترجمة :

د. إبراهيم صالح ميلاد

أستاذ تغذية الحيوان المشارك

قسم الإنتاج الحيواني – كلية الزراعة

جامعة عمر المختار



منشورات جامعة عمر المختار 2022

اسم الكتاب : تغذية الحيوان.

اسم المؤلف : إبراهيم صالح ميلاد.

رقم الإيداع : 2017/270م.

دار الكتب الوطنية بنغازي – ليبيا



منشورات

جامعة عمر المختار

البيضاء

الترقيم الدولي

ردمك ISBN 978-9959-81-078-6

Animal Nutrition

Fifth edition, 1995

P. Mc. DONALD
Formerly reader in Agricultural Biochemistry, University of Edinburgh, Head of the Department of Agricultural Biochemistry, Edinburgh School of Agriculture.
R.A. EDWARDS
Formerly Head of the Department of Animal Nutrition, Edinburgh School of Agriculture.
J.F.D. GREENHALGH
Emeritus Professor of Animal Production and Health, University of Aberdeen.
C. A. Morgan
Animal Nutritionist, Scottish Agricultural College, Edinburgh.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

أَوَلَمْ يَرَوْا أَنَّا خَلَقْنَا لَهُمْ مِمَّا عَمِلَتْ أَيْدِينَا أَنْعَامًا فَهُمْ لَهَا مَالِكُونَ (71)

وَذَلَّلْنَاهَا لَهُمْ فَمِنْهَا رَكُوبُهُمْ وَمِنْهَا يَأْكُلُونَ (72)

وَلَهُمْ فِيهَا مَنَافِعُ وَمَشَارِبُ أَفَلَا يَشْكُرُونَ (73)

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

سورة يس

إهداء

إلى روح والدي

إلى روح والدتي

إلى جميع أفراد أسرتي

إلى كل من علّمني

المترجم

تمهيد للطبعة الخامسة

Preface to fifth edition

لقد كان هناك تقدم ملحوظ في معارفنا عن تغذية الحيوان منذ صدور الطبعة الرابعة من هذا الكتاب ، وهذا يحتاج إلى مراجعة شاملة لمتن الكتاب. بعض المواضيع تقدمت أسرع من البعض الآخر، والتغيرات في الكتاب تركّزت في الأبواب الوسطى التي تختص بالتغذية الكمية عامة، وعلى أنظمة تقييم الغذاء بشكل خاص. الفصل المعنون سابقا مقاييس التغذية للتكاثر والإدرار تم تقسيمه إلى اثنين.

التغير الرئيسي الآخر الذي حدث في السنوات السبع الماضية هو تقاعد المؤلفين الثلاث الرئيسيين من مناصبهم الأكاديمية، بالرغم من أنهم لازالوا متعهدين ببعض الأنشطة الأكاديمية. لضمان سير هذا الكتاب لطبعات إضافية، فقد جنّد المؤلفين الرئيسيين د. كولن مورقان Dr. Colin Morgan من الكلية الزراعية الاسكتلندية، حيث ساهمت معرفته بتغذية غير المجترات وخبرته في البحث والأعمال الاستشارية في تطورات هذا الكتاب.

أنطلق د. مورقان بشكل ملائم من إدنبرة (Edinburgh)، حيث نشأ علم تغذية الحيوان عندما كان المؤلفين الرئيسيين أعضاء هيئة التدريس في مدرسة إدنبرة الزراعية. كما هو الحال في الطبعات السابقة فإن المؤلفين ممتنين من الملاحظات البنّاءة والمساعدة من زملائهم وأصدقائهم.

إننـا نشـكر كـذلك العـاملين في المكتبـات المختلفـة، و نشـكر كـذلك مسـتر س. فليتشـر (Mr. C. Fletcher) في مختبرات آينسم (Aynsome)، على وضع الكتب والمجلات العلمية في متناولنـا. أخـيرا نحـن نرغـب في شـكر زوجاتنـا، اللـواتي سـاهمن في إعـداد النسـخ الأولى والفهرست وساعدن بالقراءة البينة.

P. McDonald, R.A. EDWARD, J.F.D. GREENHALGH and C.A. Morgan

شكر وتقدير

Acknowledgements

نحن مدينون بالفضل إلى كل الذين أذنوا لنا بإعادة نسخ المادة:

CAB International for fig. 6.1 (Symonds and Forbes, 1993), and tables 13.7 (Agricultural Research Council, 1981), 13.9 (AFRS), 15.4 (Agricultural Research Council, 1980) and 15.5 (Agricultural Research Council, 1981); Blackwell Science Ltd for fig. 10.1 (Terry et al., 1978) and table 20.1 (Carpentero et al., 1979); Cambridge University Press for fig. 10.2 (Mehrez and Orskov,1977), 16.7 (Wallace, 1948) and 16.8 (Pear et al., 1972), and tables 10.3 (Mac Rae and Ulyatt, 1974) and 15.6 (Gill and Thompson, 1954); SIR Publishing for fig. 12.2 (Toyce et al., 1975). Academic Press Inc. for table 13.2 (Sauer and Langer, 1992); Butterworth-Heinemann Ltd. For table 13.6 (Mougham, 1991) and fig. 16.5 (Broster and Thomas, 1981); Elsevier Science for tables 19.7 (Henderson et al., 1982) and 20.7 (Diajanenegara and Doyle, 1989); The Agricultural Education Association for tables 20.6 (Greenhalgh, 1983).

بالرغم من عمل كل المحاولات لتقصي المادة المنسوخة للمالكين، إلا انه في حالات قليلة قد يكون هذا مستحيلا، ونحن ننتهز هذه الفرصة لتقديم اعتذارنا لأي كان يحمل نسخة والى الذين خالفنا حقوقهم بشكل غير مقصود.

المؤلفون

الفهرس

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

مقدمة المترجم

بسم الله الرحمن الرحيم

و صلّى الله على سيدنا محمد و على آله و صحبه و سلّم

الحمد لله الذي منّ علينا بالهداية والتوفيق

إن تقدّم وتشعّب موارد المعرفة و هذا الفيض الزاخر من العلوم ، يجعل لزاماً علينا أن نساهم في توفير هذه المعارف لكل المهتمين والمتخصصين وان ننقل لهم ما أبدعته العقول الأخرى وفق معايير أمينة وغير متحيزة وقد تطلّب هذا صبر طويل ومثابرة و همّة. و في سبيل إثراء المكتبة العربية بالمراجع العلمية لتدعيم الإنتاج العلمي وخاصة بالمصادر ذوات الانتشار الواسع، فقد حاولت قدر جهدي المتواضع أن أساهم ولو بدرجة، في السلّم المؤدي إلى المعرفة وذلك بنقل هذا الكتاب إلى اللغة العربية لكي يستفيد منه المتخصصين في العلوم الزراعية و في مجال الإنتاج الحيواني بدرجة خاصة وأن يكون لهم مشكاة تنير لهم جانباً من المعرفة. وقد بذلت فيه قصارى جهدي لإظهار ترجمته في صورة تناسب احتياجها نظراً لأنه يمثل إحدى المراجع المهمة في تغذية الحيوان والتي تعتبر إحدى الركائز الأساسية في مجال الإنتاج الحيواني. إن المتصفح لهذا الكتاب يتّضح له أن المؤلفين قد بذلوا جهدا كبيراً فهو يعرض العناصر الغذائية التي يحتاجها الحيوان وسبل توفيرها في غذائه وكيفية استفادته منها وهذا يمثل التغذية النوعية والتي تم مناقشتها في الفصول العشرة الأولى، أما الفصول الثلاثة عشر الأخرى فهي تهتم بالتغذية الكمية وهي تقييم كميات العناصر الغذائية التي توفرها الأغذية والكميات المطلوبة من قبل الأنواع المختلفة من

الحيوانات الزراعية. يحتوي الكتاب على الملاحق وهي جداول توضح المكونات الكيميائية للأغذية والمقاييس الغذائية للحيوانات الزراعية والتي تعتبر من الأدوات المهمة للدارس والباحث والمزارع علي حد سواء وخاصة عند الحاجة لهذه البيانات في تقييم الأغذية وفي تكوين العلائق. ويحتوي هذا الكتاب أيضا على عدد من المراجع في نهاية كل فصل لعلها تفيد القارئ وتكون له دليلاً إلى أية معلومات إضافية يسعى إلى معرفتها بالتفصيل.

إن هذا العمل جاء نتاج مساعدة الكثير من الناس و الذين كان لمساهماتهم الأثر الكبير وأخص بالذكر والشكر والعرفان كل من الأستاذ الدكتور **محمد السنوسي إبراهيم بن عامر** و الأستاذ الدكتور **عادل عبد الله عبد الغني** الذيْن بذلا غاية جهدهما وقاما بمراجعة النص المترجم مراجعة علمية قيمة وكانت ملاحظاتهم وتعليقاتهم قد شكلت رافدا إضافيا لتحسين فرص الاستفادة من هذا الكتاب.

كما اخص بالشكر الوفير الأستاذ الفاضل: **موس احميده محمد** الذي قام بمراجعة مسودة الكتاب وعمل جاهداً على تقويمها لغوياً وبتمعّن وقد كان لمساهمته في هذا الجانب الأثر الكبير في تطويره و تحسينه لغوياً ، كذلك أقدم وافر الشكر إلى **زملائي أعضاء هيئة التدريس** بقسم الإنتاج الحيواني بجامعة عمر المختار وإلى أساتذتي أعضاء هيئة التدريس بقسم الإنتاج الحيواني **بجامعة الفاتح**. الشكر موصول أيضا إلى جميع الطلاب الذين قمت بتدريسهم والذين كانت استفساراتهم ومناقشاتهم خير حافز للتفكير في هذا العمل و كذلك إلى الأخ: **منير الشلوي** بمكتب **العالم الآن** الذي بذل جهوداً مضنية في

التنسيقات النهائية لإظهاره بهذا المظهر. الشكر الوفير كذلك إلى **زوجتي الكريمة** والى **جميع أفراد أسرتي** الذين قاموا بالدعم والتشجيع كلما كان ذلك ممكناً. و أخيرا ، فإن كل الملاحظات، التصحيحات، والمقترحات سنتقبلها بكل سرور ونضعها نصب أعيينا مستقبلاً.

لا يسعني في نهاية هذه المقدمة إلا أن أسجّل شكري وتقديري إلى **الأستاذ الدكتور فتحي سعد المسماري** مدير مكتب التأليف والترجمة بجامعة عمر المختار على حرصه وتجاوبه معنا أثناء إنجاز هذه الترجمة.

الحمد لله الذي أمدّني بالصحة والعافية حتى تمكنت من إنجاز ترجمة هذا الكتاب ونسأل الله أن يجعل هذا الجهد ذو فائدة شاملة لكل من يحتاج إليه وأن يبقى علماً ينتفع به.

البيضاء – الجماهيرية العربية الليبية 21 النوار (فبراير) 2009 م

وبالله التوفيق

د. إبراهيم صالح ميلاد القره بوللي

الفصل الأول

الحيوان وغذاؤه

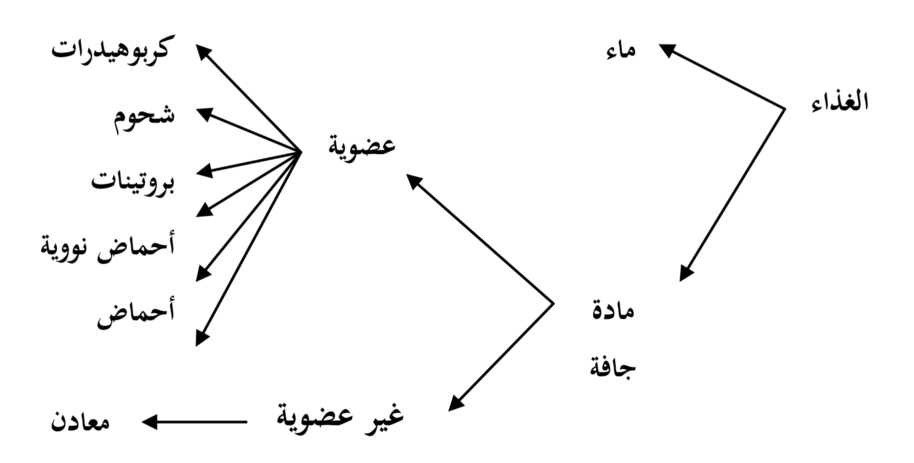
الحيوان وغذاؤه The animal and its food

الغذاء هو تلك المادة التي يكون الحيوان قادراً على هضمها وامتصاصها والاستفادة منها. ونستعمل مصطلح " الغذاء " كمعني أكثر شمولية لوصف المادة الصالحة للأكل. ويوصف العشب والقش، على سبيل المثال، كغذاء ولكن ليست كل مكوناتها مهضومة. عندما يستخدم مصطلح " غذاء " بالمعني العام، كما في هذا الكتاب، عندها توصف تلك المكونات التي يمكن استخدامها بواسطة الحيوانات بأنها عناصر غذائية أو مغذيات ' Nutrients'.

وتتكون عليقة حيوانات المزرعة عموما من نبات ومنتجات نباتية، بالرغم من استعمال كميات محدودة من أغذية ذات أصل حيواني مثل اللبن ومسحوق السمك. وتعتمد الحيوانات في وجودها على النباتات، وهكذا فإن دراسة تغذية الحيوان تستوجب ضرورة أن تبدأ بدراسة النبات نفسه.

للنباتات قدرة على تخليق مواد معقدة من عناصر بسيطة مثل ثاني أكسيد الكربون من الهواء، والماء والعناصر غير المعدنية من التربة وذلك عن طريق التمثيل الضوئي حيث يتم استقطاب الطاقة من ضوء الشمس واستخدامها في هذه العمليات التخليقية. ومع ذلك فإن الجزء الأكبر من الطاقة يخزن كطاقة كيميائية بداخل النبات نفسه وهذه هي الطاقة التي يستخدمها الحيوان للمحافظة على الحياة وتخليق أنسجة جسمه. وتشتمل النباتات

والحيوانات على أنواع متشابهة من المواد الكيميائية، ويمكننا تجميعها في أصناف تبعا للمكونات والخواص والوظيفة. المكونات الرئيسية للأغذية، النباتات والحيوانات هي:



الماء **Water**

يختلف محتوى الماء في جسم الحيوان باختلاف العمر. ويحتوي الحيوان حديث الولادة من 750 إلى 800 جم ماء / كجم ولكن هذه تتناقص إلى حوالي 500 جم ماء/كجم في الحيوان الناضج السمين. إن أساس حياة الكائن الحي تكمن في المحافظة على محتوى الماء في الجسم، وسوف يموت الحيوان بسرعة أكثر لو تم حرمانه من الماء مما لو تم

حرمانه من الغذاء. ويعمل الماء في الجسم كمذيب، حيث تنقل فيه العناصر الغذائية عبر الجسم وتفرز بواسطته نواتج الفضلات.

حيث نجد أن العديد من التفاعلات الكيميائية التي تقوم بها الإنزيمات تحدث في محلول وتتضمن التحلل. بسبب ارتفاع الحرارة النوعية للماء، فإنه يمكن أن تحدث تغيرات كبيرة في إنتاج الحرارة داخل الحيوان بتعديل طفيف جدا في درجة حرارة الجسم.

يتحصّل الحيوان على احتياجه من الماء من ثلاثة مصادر: ماء الشرب ، الماء الموجود في غذائه و ماء الأيض، ويتكون هذا الأخير خلال الأيض بواسطة أكسدة العناصر الغذائية المحتوية على الهيدروجين. إن محتوى الأغذية من الماء متغير جدا ويمكن أن يتراوح من أقل من 60 جم/كجم في المركزات إلى أكثر من 900 جم/كجم في بعض جذور المحاصيل. وبسبب هذا التفاوت الكبير في محتوى الماء، فان مكونات الأغذية غالبا ما يعبر عنها على أساس المادة الجافة والتي تتيح المقارنة الصحيحة لمحتواها من العناصر الغذائية، وهذا موضح في الجدول 1.1، الذي يدرج أمثلة قليلة من منتجات النبات والحيوان.

ويرتبط محتوى الماء في النباتات النامية بمرحلة النمو، فالنباتات الصغيرة تحتوي ماء أكثر من النباتات الكبيرة. وليس من المعتاد أن يسبب الحصول على ماء الشرب أية مشكلة في المناخ المعتدل حيث يتم تزويد الحيوانات بمصدر مستمر للماء. ولا يوجد دليل على أن الزيادة في ماء الشرب تحت الظروف العادية كانت ضارة ومن المعتاد أن يشرب الحيوان بقدر احتياجه.

جدول 1.1 مكونات بعض المنتجات النباتية والحيوانية معبرا عنها على الأساس الطازج أو على أساس المادة الجافة.

على الأساس الطازج (جم/كجم)					
	الماء	الكربوهيدرات	الدهن	البروتين	الرماد
لفت	910	70	2	11	7
عشب(طري)	800	137	8	35	20
حبوب شعير	140	730	15	93	22
فول سوداني	60	201	449	268	22
بقرة لبن	570	2	206	172	50
لبن	876	47	36	33	8
عضلات	720	6	44	215	15
بيض	667	8	100	118	107
علي أساس المادة الجافة (جم/كجم)					
لفت	0	778	22	122	78
عشب(طري)	0	685	40	175	100
حبوب شعير	0	849	17	108	26
فول سوداني	0	214	478	285	23
بقرة لبن	0	5	479	400	116
لبن	0	379	290	266	65
عضلات	0	21	157	768	54
بيض	0	24	300	355	321

المادة الجافة Dry Matter

من الناحية العملية فان المادة الجافة للأغذية تنقسم إلى مادة عضوية ومادة غير عضوية، بالرغم من عدم وجود ذلك التقسيم القاطع في الكائنات الحية. تحتوي العديد من المركبات العضوية على عناصر معدنية كمكونات تركيبية، فقد يحتوي البروتين مثلا على الكبريت وتحتوي عدة كربوهيدرات ودهون على عنصر الفوسفور.

من جدول 1.1 يمكن ملاحظة أن الكربوهيدرات هي المكون الرئيسي لأعشاب المرعي، وهذا صحيح لكل النباتات والعديد من البذور وفي البذور الزيتية، مثل الفول السوداني، يكون استثنائيا في احتوائه على كميات كبيرة من البروتين والمواد الدهنية في صورة زيت، وبالمقابل فان محتوى الكربوهيدرات في جسم الحيوان يكون منخفضا جدا. إن احد الأسباب الرئيسية للفروق بين النباتات والحيوانات في ذلك، انه في حين يتكون جدار الخلايا في النباتات من مواد كربوهيدراتية أغلبها سيليولوز، فان الجدران(الأغشية) في خلايا الحيوان تتركب في معظمها من الدهون والبروتينات. علاوة على ذلك فان النباتات تخزن الطاقة بشكل كبير في صورة كربوهيدرات مثل النشا والفركتانز (Fructans)، في حين أن مخزون الطاقة الرئيسي في الحيوانات يكون في صورة دهون.

يختلف محتوى الدهن في جسم الحيوان ويرتبط بالعمر، حيث يحتوي الحيوان الأكبر عمراً نسبة أكثر من الحيوان الصغير. ومحتوي الدهن في النباتات الحية منخفض نسبياً حيث يكون في أعشاب المرعي مثلا من 40 إلى 50 جم/كجم مادة جافة.

البروتين هو المركب الأساسي الذي يحتوي على نيتروجين في النباتات والحيوانات على حد سواء. يكون تركيز البروتين مرتفعا في النباتات الصغيرة النامية حيث أن معظمه يوجد كإنزيمات، ويتناقص ذلك التركيز بتقدم النبات في العمر "كلما نضج النبات"، أما في الحيوانات، فان العضلات، الجلد، الشعر، الريش، الصوف والأظافر (الأظلاف) تتكون غالبا من بروتين. الأحماض النووية أيضاً مثل البروتينات، وهي مركبات تحتوي على نيتروجين وتلعب دوراً أساسياً في تخليق البروتينات في جميع الكائنات الحية، وهي أيضاً تنقل المعلومات الوراثية في الخلية الحية. وهناك بعض الأحماض العضوية التي توجد في النباتات والحيوانات وهي تشمل حمض السيتريك (Citric acid) (الليمونيك)، حمض التفاح (Malic acid)، حمض السكسينيك (Succinic acid) وحمض البايروفيك (Pyruvic acid). بالرغم من أن وجودها اعتيادي وبكميات صغيرة، إلا أنها تلعب دوراً مهماً كمركبات وسطية في الأيض العام للخلية. وتوجد كذلك بعض الأحماض العضوية الأخرى كنواتج التخمر في الكرش، أو في السيلاج (Silage) وهذه تشمل حمض الخليك، حمض البروبيونيك، البيوتاريك (Butyric acid) وحمض اللاكتيك
.(Lactic acid)

وتوجد الفيتامينات في النباتات والحيوانات بكميات صغيرة جداً، والعديد منها تكون مهمة كمكون لأنظمة الإنزيمات. ولعلّ أهم فرق بين النباتات والحيوانات هو أنه، في

حين تستطيع الأولي تخليق جميع الفيتامينات المطلوبة للأيض، فان الحيوانات لها قدرة محدودة جدا على التخليق، وبهذا فهي معتمدة على المصدر الخارجي.

تحتوي المادة غير العضوية جميع تلك العناصر الموجودة في النباتات والحيوانات بخلاف الكربون، الهيدروجين، الأوكسجين والنيتروجين. ويمثل كل من الكالسيوم والفوسفور المكونات غير العضوية الأساسية في الحيوانات، بينما العناصر الأساسية غير العضوية في النباتات هي البوتاسيوم والسيليكون.

تحليل الأغذية Analysis of Foods

إنّ أغلب المعلومات المتوفرة لدينا حول مكونات الأغذية مبنية على نظام تحليل يوصف بالتحليل التقريبي للأغذية، والذي تم ابتكاره منذ أكثر من مائة سنة مضت عن طريق اثنين من العلماء الألمان وهما هينبيرج وستوهمان (Hennberg and Stohman).

التحليل التقريبي للأغذية Proximate analysis of foods

يقسم هذا النوع من التحليل الغذاء إلى ستة أجزاء: الرطوبة، الرماد، البروتين الخام، المستخلص الايثري، الألياف الخام ومستخلصات خالية من النيتروجين.

يحدد محتوى الرطوبة بالنقص في الوزن الذي ينتج عند تجفيف وزن معلوم من الغذاء عند 100 درجة مئوية إلى ثبات ذلك الوزن. في معظم الأغذية تكون هذه طريقة ملائمة، ولكن مع القليل من الأغذية، مثل السيلاج، فقد يحدث الكثير من الفقد في المواد الطيارة.

يحدد محتوى الرماد بواسطة حرق وزن معلوم من الغذاء عند 550 درجة مئوية حتى يتم إزالة جميع ما بها من كربون. يؤخذ المتبقي ليمثل المكونات غير العضوية للغذاء. من ناحية ثانية، ربما يحتوي الرماد على مواد ذات أصل عضوي مثل الكبريت والفوسفور من البروتينات، بالإضافة إلى بعض الفقد الذي يحدث في الصوديوم، الكلور، البوتاسيوم، الفوسفور والكبريت أثناء عملية الحرق. وهكذا فان محتوى الرماد لا يمثل المواد غير العضوية في الغذاء بدقة سواء من الناحية النوعية أو الكمية.

يحسب محتوى البروتين الخام (Crude protein, CP) من محتوى النيتروجين في الغذاء، ويحدد بتحوير تقنية مبتكرة أساساً بواسطة كلدال (Kjeldahl) منذ أكثر من مائة سنة مضت. و يتم في هذه الطريقة هضم الغذاء مع حمض الكبريتيك المركز، والذي يحوّل كل النيتروجين الموجود إلى آمونيا (نشادر) ماعدا ذلك الذي في صورة نيترات (Nitrate) أو نيترايت (Nitrite). تتحرر الأمونيا بواسطة إضافة هيدروكسيد الصوديوم إلى الهضم (Digest)، ثم تقطر وتجمع في حمض قياسي، يتم تحديد الكمية التي تم تجميعها بواسطة معايرتها أو بواسطة مقياس التلون الآلي.

لقد تم افتراض أن النيتروجين مشتق من بروتين محتويا على 16 % نيتروجين، ويمكن الحصول على قيمة تقريبية للبروتين بواسطة ضرب قيمة النيتروجين في 100\16 أو 6.25. حيث أن هذه الطريقة تحدد النيتروجين من مصادر أخرى غير البروتين مثل الأحماض الأمينية

الحرة، الأمينات والأحماض النووية، فان هذا الجزء ليس بروتيناً حقيقياً ولهذا يسمي البروتين الخام (Crude protein).

يحدد جزء المستخلص الايثري (Ether extract) عن طريق تعريض الغذاء إلى استخلاص مستمر بواسطة الايثر البترولي وذلك لمدة محددة، والمتبقي بعد تبخر المذيب، هو المستخلص الايثري. بالإضافة إلى الدهون فانه يحتوي أحماضاً عضوية، كحولات وأصباغاً.

توجد الكربوهيدرات في الغذاء في جزئين، الألياف الخام (Crude fibre) ومستخلصات خالية من النيتروجين (Nitrogen- free extractives). يعين الأول بواسطة تعريض المتبقي من مستخلص الايثر لمعاملات متعاقبة من الغليان بالحمض وبالقلوي ذوات تراكيز محددة؛ الجزء العضوي المتبقي هو الألياف الخام.

عندما يطرح حاصل جمع كميات الرطوبة، الرماد، البروتين الخام، مستخلص الايثر (وهذه جميعها معبراً عنها جم/كجم) من 1000، فان الفرق يسمي المستخلصات الخالية من النيتروجين. يحتوي جزء الألياف الخام على السيليولوز واللجنين (الخشبين) الهيميسيليولوز، ولكن ليس بالضرورة أن هذه هي كل الكميات الموجودة في الغذاء: نسبة غير ثابتة منها مضمنة في المستخلصات الخالية من النيتروجين، ويعتمد ذلك على نوع ومرحلة النمو في مادة النبات. إن المستخلصات الخالية من النيتروجين عبارة عن خليط غير متجانس من مكونات لم تحدد في الأجزاء الأخرى. ويشمل سكريات فركتانز (Fructans)، نشويات بكتينات، أحماض عضوية وأصباغ بالإضافة إلى تلك المكونات التي ذكرت سابقا.

طرق تحليلية حديثة Modern analytical methods

أصبحت طريقة التحليل التقريبي في السنوات الأخيرة موضع نقد شديد من قبل العديد من أخصائي التغذية على أنها قديمة وغير دقيقة، وقد تم استبدالها في معظم المختبرات جزئيا بطرق تحليلية أخرى. حيث كان معظم النقد موجهاً لأجزاء الألياف الخام، الرماد والمستخلصات الخالية من النيتروجين. وقد طورت طرق بديلة بالنسبة للألياف الخام بواسطة الباحث (Van Soest) (جدول 2.1). ألياف المنظف المتعادل (The neutral – detergent fibre، NDF)، وهي تلك المتبقية بعد الاستخلاص بالغليان في محاليل متعادلة من كبريتات صوديوم لاورايل (Sodium lauryl sulphate) وايثيلين ثنائي أمين رباعي حمض الخليك (Ethylene diamino tetra acetic acid، EDTA)، ويتكون هذا الجزء في معظمه من اللجنين (الخشبين)، السيليولوز والهيميسيليولوز ويمكن اعتباره قياساً لمادة جدار الخلية.

أن الطريقة التحليلية لألياف المنظف المتعادل (NDF) والتي اقترحت في الأصل للأعشاب(Forages)، أمكن استخدامها أيضاً للأغذية التي تحتوي النشا شريطة أن تتضمن الطريقة المعاملة بأنزيم الاميليز. ألياف المنظف الحمضي (*Acid–detergent fibre*، ADF) وهو المتبقي بعد الغليان مع حمض الكبريتيك (0.5 M) ومحلول (Cetyltrimethyl ammonium bromide، CTAB)، ويمثل ذلك أساساً اللجنين الخام وأجزاء السيليولوز لمادة النبات ولكنه يشمل أيضاً السيليكا (Silica).

يستخدم تحديد ألياف المنظف الحمضي (ADF) في التطبيقات العملية للأعشاب العلفية لان هناك ارتباطاً إحصائياً قوياً بينه وبين مدى هضم الغذاء (معامل الهضم). لقد عمل تحوير طفيف على طريقة ألياف المنظف الحمضي في المملكة المتحدة (UK ,United Kingdoom)، بحيث رفعت كل من فترة الغليان وقوة تركيز الحمض. يستعمل مصطلح ألياف المنظف الحمضي المحوّر(*Modified acid-detergent fibre*، MADF) لوصف هذه الطريقة.

يستخدم مصطلح الألياف الغذائية عادة في الحيوانات وحيدة المعدة وبصفة خاصة في تغذية الإنسان، ويعرف هذا باللجنين إضافة إلى تلك السكريات المتعددة (Polysaccharides) والتي لا يمكن هضمها بالإنزيمات الداخلية لوحيدة المعدة.

جدول 2.1 تقسيم أجزاء الأعشاب (Forage) باستخدام طرق المنظف لفان سوست أخذت عن :

(Van Soest, P.J *1967 J.anim. Sci.*, 26,119)

الجزء	المكونات
محتويات الخلية (ذائبة في المنظف المتعادل)	دهون، سكريات، أحماض عضوية، مواد ذائبة في الماء، بكتين، نشا، نيتروجين غير بروتيني، بروتين ذائب
مكونات جدار الخلية(ألياف غير ذائبة في المنظف المتعادل) 1. ذائبة في المنظف الحمضي	الهيميسيليولوز، بروتين مرتبط بالألياف
2. ألياف المنظف الحمضي	سيليولوز، لجنين،نيتروجين ملجنن "متخشب"، سيليكا

وبحكم التعريف، فأنه من الصعب تحديد الألياف الغذائية في المعمل وبذلك فقد تم اقتراح مصطلح بديل وهو سكريات متعددة من غير النشا (*Non-starch*

polysaccharides, NSP). ويعتبر (NSP) مع اللجنين هي التي تمثل المكونات الأساسية لجدران الخلايا في معظم الأغذية.

تنقسم طرق قياس NSP إلى فئتين: طرق ثقل نوعية- إنزيمية وطرق كيميائية – إنزيمية (Enzymatic–gravimetric and enzymatic-chemical)، حيث تقيس الطرق الثقل نوعية–الإنزيمية مكونات مختلفة ولا تعطي تفاصيل عن نوع السكريات المتعددة، بينما تعرف الطرق الكيميائية- الإنزيمية الكربوهيدرات في الغذاء، ويمكن تقسيم NSP مرة ثانية إلى أجزاء ذائبة وأجزاء غير ذائبة. تشمل الأولي الصمغ، البكتينات، الهلام النباتي (Mucilage) وبعض الهيميسيليولوز وهي ذائبة في الماء. الجزء غير الذائب يشمل السيليولوز ومعظم الهيميسيليولوز، هذا وقد تركز الاهتمام في السنوات الأخيرة حول أهمية كل هذه الأشكال في غذاء الإنسان.

عرف على السكريات المتعددة غير النشا والذائبة في الماء NSP على أنها تخفض الكوليستيرول في المصل، أماNSP غير الذائبة فأنها تزيد حجم الروث وسرعة معدل البقاء في القولون. ويعتقد بان للتأثير الأخير فائدة في منع العديد من الأمراض ومن ضمنها سرطان الأمعاء. يوفر التحديد البسيط للرماد معلومات قليلة جدا حول تركيب الغذاء من المعادن بصورة صحيحة، وعند الحاجة لذلك، فانه يتضمن تحاليل تقنية عادة باستخدام المطيافة " التحليل الطيفي"، وتعتمد مطيافية الامتصاص الذري (*Atomic absorption spectroscop*y) على تحويل العينة، عادة في الطور السائل إلى الحالة الذرية، ويتم ذلك

عادة بالتسخين في لهب، ويسمح لها ذلك أن تمتص الضوء عند طول موجي معين وتعطي معلومات كمية عن العناصر المعدنية مناظرة للطول الموجي الذي تم اختياره. وقد استعملت طرق أخرى لتحليل المعادن وتشمل مضوائية اللهب *Flame photometry* و *Inductively coupled plasma emission spectroscopy*.

عند الحاجة إلى معلومات تفصيلية عن سكريات، أحماض أمينية أو أحماض دهنية بذاتها، فان ذلك يشتمل على استخدام تقنية العزل الكروموتوجرافي. في حالة كروموتوجرافيا الغاز–السائل *Gas-liquid chromatography* فان الطور الساكن هو سائل محجوز في مادة صلبة منفذة porous، غالبا الراتينج (Resin)، ويكون الطور المتحرك عبارة عن غاز.

تتجزأ المواد الطيارة بين السائل والبخار ويمكن عزلها تماما. ومن ناحية أخرى، فغالبا ما يعتبر هذا الشكل من الكروموتوجرافي عملية بطيئة ولإسراع عملية الفصل، تم تطوير كروموتوجرافيا السائل ذات الأداء العالي *(High performance liquid chromatography)* ويتم في هذه التقنية، يتم استخدام الضغط على السائل، الذي يحتوي المركب المراد فصله، وبسرعة خلال الراتينج المحجوز في عمود معدني قوي. بالإضافة إلى تسريع العملية، يتم كذلك الحصول على أكثر دقة في فصل العناصر المتقاربة Higher resolution.

وقد تم في الآونة الأخيرة إدخال تقنية (*Near Infra Red Spectroscopy*, NIRS) في بعض المختبرات. وتتضمن هذه الطريقة استخدام جهاز بصري وحاسوب للحصول على

بيانات طيفية من مجموعة عينات مضبطة وربط انعكاسها لمكونات معلومة تم تحديدها بالطرق التقليدية. وتستخدم هذه العلاقات في ربط قراءات الانعكاس التي تم الحصول عليها للأغذية المعينة بمكوناتها. وتستخدم هذه التقنية بصورة روتينية لتحديد مدى لخصائص الغذاء، ويشتمل تلك الناتجة من عدد من تركيزات العناصر الغذائية مثل الطاقة الأيضية.

مطيافية الرنين النووي المغناطيسي

Nuclear magnetic resonance spectroscopy

وهي تقنية حديثة جدا وتستخدم أيضاً في تقدير مكونات الأغذية. وتمكن هذه الطريقة من استخدام حقيقة احتواء بعض المركبات على أنوية ذرية والتي يمكن التعرف عليها من رنين الطيف النووي المغناطيسي (Nuclear magnetic resonance spectrum) والتي تقيس الاختلافات في امتصاص الإشعاع الكهرومغناطيسي.

مراجع الفصل الأول

1. Agricultural and Food Research Council 1987 Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No.2 Characterisation of Feedstuffs: Nitrogen. *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B: Livestock Feeds and Feeding*, **57**: 713 – 736.
2. Agricultural and Food Research Council 1987 Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No.3. Characterisation of Feedstuffs: Other Nutrients. *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B: Livestock Feeds and Feeding,* **58**: 549 - 571.
3. Association of Official Analytical Chemists 1990 *Official Methods of Analysis*, 15^{th} edn. Washington, DC.
4. Coultate T P 1989 Food- *The chemistry of its components*, 2^{nd} edn. London, Royal Society of Chemistry.
5. Kritchevsky D, Bonfield C and Anderson J W 1988 *Dietary Fibre*. New York, Plenum Press.
6. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 1985 *The Analysis of Agricultural Materials, Ref. Book* 427. London, HMSO.
7. The Feeding Stuffs *(Sampling and Analysis) Regulations* 1982. London, HMSO.
8. Van Soest P J 1982 *Nutritional Ecology of the Ruminants*. Cornvallis, Oregon, O and B Books.

الفصل الثاني

الكربوهيدرات

الكربوهيدرات Carbohydrates

اشتق اسم الكربوهيدرات من الكلمة الفرنسية "*Hydrate de carbon*" وكان قد تم استعمالها أساساً للمركبات الكيميائية التي تحتوي عناصر الكربون، الهيدروجين، الأوكسجين، حيث يوجد العنصران الأخيران بنفس نسبة وجودهما في الماء. بالرغم من أن للعديد من الكربوهيدرات الصيغة التجريبية " الوضعية" $(CH_2O)_n$ حيث "n " تساوي ثلاثة أو أكثر، إلا أن التعريف السابق غير صحيح تماما، نظرً لان بعض المركبات التي لها خصائص الكربوهيدرات تحتوي فوسفور، نيتروجين أو كبريت بالإضافة إلى عناصر الكربون ، الهيدروجين، والأوكسجين. إضافة إلى ذلك فإن بعض المركبات مثل سكر ديوكسي ريبوز (Deoxyribose)، لا يحتوي على الهيدروجين و الأوكسجين بنفس تلك النسبة الموجودة في الماء.

وبمفهوم أكثر حداثة تعرّف الكربوهيدرات بأنها الدهيدات، كيتونات، كحولات أو أحماض وجميعها عديدة الهيدروكسيل أو مشتقاتها البسيطة أو أي من المركبات التي يمكن تحللها لهذا النوع من المركبات.

تصنيف الكربوهيدرات Classification of carbohydrates

يمكن تقسيم الكربوهيدرات وفقا لطبيعتها الكيميائية إلى مجموعتين أساسيتين، السكريات و غير السكريات (انظر جدول 1.2). أبسط السكريات هي السكريدات الأحادية (Monosaccharides) والتي تنقسم إلى مجاميع فرعية (Subgroups): Trioses

سكريات أحادية تحتوي ثلاث ذرات كربون " $C_3H_6O_3$ " ، Tetroses سكريات أحادية تحتوي أربع ذرات كربون " $C_4H_8O_4$ "، Pentoses سكريات أحادية تحتوي خمس ذرات كربون " $C_5H_{10}O_5$ "، Hexoses سكريات أحادية تحتوي ست ذرات كربون " $C_6H_{12}O_6$"و Heptoses سكريات أحادية تحتوي سبع ذرات كربون " $C_7H_{14}O_7$ "، ويعتمد التقسيم السابق على عدد ذرات الكربون الموجودة في الجزيء . توجد ثلاثية ورباعية الكربون كنواتج وسطية لعمليات أيض الكربوهيدرات الأخرى، وسوف تناقش أهميتها في الفصل التاسع. يمكن ارتباط السكريات الأحادية مع بعضها، مع التخلص من جزيء واحد من الماء مع كل رابطة لإنتاج ثنائي- ثلاثي- أو رباعي السكريد المتعدد محتويا اثنين، ثلاثة، أربعة أو أعداداً كبري من وحدات السكريدات الأحادية.

إن مصطلح " سكر" يقتصر عامة على تلك الكربوهيدرات التي تحتوي على اقل من عشرة من السكريدات الأحادية، في حين أن اسم السكريدات قليلة الحدود " Oligasaccharides " (من اليونانية *Oligos*، قليل) تستعمل أحياناً لتشمل كل السكريات غير السكريدات الأحادية " Monosaccharides ".

السكريدات المتعددة " Polysaccharides " وتسمى أيضاً Glycans، هي Polymers أو جزيئات كبيرة ناتجة من وحدات من السكريات الأحادية وهي تقسم إلى مجموعتين، السكريدات المتعددة المتجانسة وهي التي تحتوي نوعاً واحداً فقط من وحدات

السكريدات الأحادية، و السكريدات المتعددة غير المتجانسة وهي التي تنتج عند تحللها مخاليط من السكريات الأحادية والنواتج المشتقة.

جدول 1.2 تقسيم الكربوهيدرات

Classification of carbohydrates

<table>
<tr><td colspan="2">Glyceraldehyde
Dihydroxy acetone</td><td>Trioses ثلاثية
$C_3H_6O_3$</td><td rowspan="5">سكريدات احادية</td><td rowspan="8">سكريات</td></tr>
<tr><td colspan="2">Erythrose</td><td>Tetroses رباعية
$C_4H_8O_4$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Arabinose, Xylose,
Xylulose, Ribose, Ribulose</td><td>Pentoses خماسية
$C_5H_{10}O_5$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Glucose, Galactose, Mannose,
Fructose</td><td>Hexoses سداسية
$C_6H_{12}O_6$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Sedoheptulose</td><td>Heptoses سباعية
$C_7H_{14}O_7$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Sucrose, Lactose, Maltose, Cellobiose</td><td>سكريدات ثنائية</td><td rowspan="3">سكريدات قليلة الحدود</td></tr>
<tr><td colspan="2">Raffinose, Kestose</td><td>سكريدات ثلاثية</td></tr>
<tr><td colspan="2">Stachyose</td><td>سكريدات رباعية</td></tr>
<tr><td colspan="2">Arabinans, Xylans</td><td rowspan="6">سكريدات متعددة متجانسة</td><td rowspan="7">سكريدات متعددة</td><td rowspan="9">غير سكريات</td></tr>
<tr><td>Starch, Dextrins,
Cellulose, Callose</td><td>Glucans</td></tr>
<tr><td>Inulin, Levan</td><td>Fructans</td></tr>
<tr><td colspan="2">Galactans</td></tr>
<tr><td colspan="2">Mannans</td></tr>
<tr><td colspan="2">Glucosamines</td></tr>
<tr><td colspan="2">Pectic substances, Exudative gums,
Hemicellulose, Acid mucilage,
Hyaluronic acid, Chondroitin</td><td>سكريدات متعددة غير متجانسة</td></tr>
<tr><td colspan="3">Glycolipids</td><td rowspan="2">كربوهيدرات معقدة</td></tr>
<tr><td colspan="3">Glycoproteins</td></tr>
</table>

ويختلف الوزن ألجزيئي للسكريدات المتعددة من القليل وفي حدود 8000 في بعض المركبات الفركتوزية Fructans في النباتات إلى المرتفع جداً في حدود 100 مليون في الاميلوبكتين المكون للنشا. ويتأثر تحليل السكريدات المتعددة إلى مكوناتها من السكريات ببعض الإنزيمات المتخصصة أو الأحماض.

الكربوهيدرات المعقدة وهي مجموعة من المركبات غير المعروفة تماماً وتحتوي كريوهيدرات ضمن جزيئات غير كربوهيدراتية، وتشمل Glycolipids وGlycoproteins. وتتم مناقشة التركيب والأهمية الحيوية لهاتين المجموعتين من المركبات في الفصول 3 و 4 على التوالي.

السكريات الأحادية Monosaccharides

التركيب Structure

إن صيغة الجلوكوز يمكن كتابتها في شكل سلسلة مستقيمة، وهناك احتمال لشكلين متشابهين فراغياً Stereoisomerism .

تمثل الصورة الخيالية في المرآة ما يعرف بزوج إينانتيوميرك *Enantiomeric pair*، حيث أحدهما صورة بالمرآة للآخر أي أن الشكل الأول يعتبر *Enantiomer* للآخر. تم تسمية هذين الشبيهين D-Glucose و L-Glucose، وذلك بناءاً على اتجاه مجموعة الهيدروكسيل التي تحملها ذرة الكربون قبل النهائية "C_5". بناءاً على هذه التسمية فان الصور -D و-L للالدهيد الثلاثي تستخدم كمركبات مرجعية، كما هو مبين في الصيغ السابقة.

D-Glucose	L-Glucose	D-Glyceraldehyde	L-Glyceraldehyde
^{1}CHO	CHO	CHO	CHO
$H^{2}COH$	$HOCH$	$H-C-OH$	$HO-C-H$
$HO^{3}CH$	$HCOH$	CH_2OH	CH_2OH
$H^{4}COH$	$HOCH$		
$H^{5}COH$	$HOCH$		
$^{6}CH_2OH$	CH_2OH		

ويمكن ملاحظة أن الصيغ السابقة تحتوي مجموعة الدهيد "CHO"، والسكريات التي تحتوي هذه المجموعة تصنّف كألدوزات "Aldoses"، وبسبب وجود أربع ذرات كربون غير متماثلة في الالدوهيكسوزات " Aldohexoses"، فإنه من المحتمل وجود عدد 16 من الإشكال المتشابهة فراغياً "Stereoisometric forms"، ثمانية منها في الصورة -D والثمانية الأخرى هي صورة بالمرآة للأولي أو الصورة -L. يتواجد القليل فقط منها في الطبيعة؛ بالإضافة إلى د–جلوكوز D-Glucose فان السكريات الأخرى ذات الأهمية هي د–جالاكتوز D-Galactose ود–مانوز D-Mannose. ربما تحتوي صيغة السلسلة المستقيمة مجموعة كيتون " C=O ; Ketone" بدلا عن مجموعة الالدهيد "CHO" وتصنّف هذه السكريات على أنها كيتونات. وهناك احتمال وجود ثمانية أشكال متماثلة فراغياً، أربع منها

في الصورة-D وأربع في الصورة-L. ويعتبر د–فركتوز D-Fructose من أهم الكيتوهيكسوزات Ketohexoses المنتشرة في الطبيعة:

D-Fructose	L-Fructose
${}^{1}CH_2OH$	CH_2OH
${}^{2}C=O$	$C=O$
$HO\,{}^{3}CH$	$HCOH$
$H\,{}^{4}COH$	$HOCH$
$H\,{}^{5}COH$	$HOCH$
${}^{6}CH_2OH$	CH_2OH

D-Fructose L-Fructose

تحت الظروف الفسيولوجية، فإن السكريات تتواجد في شكل حلقي دائري، ويمكن أن يوجد د–جلوكوز على هيئة حلقة بايرانوز Pyranose مشابها للبايران والذي يمكن وصفه كشكل سداسي منتظم.

${}^{5}C$ — O, C_1, C_2, C_3, ${}_{4}C$

أو بشكل أبسط →

O

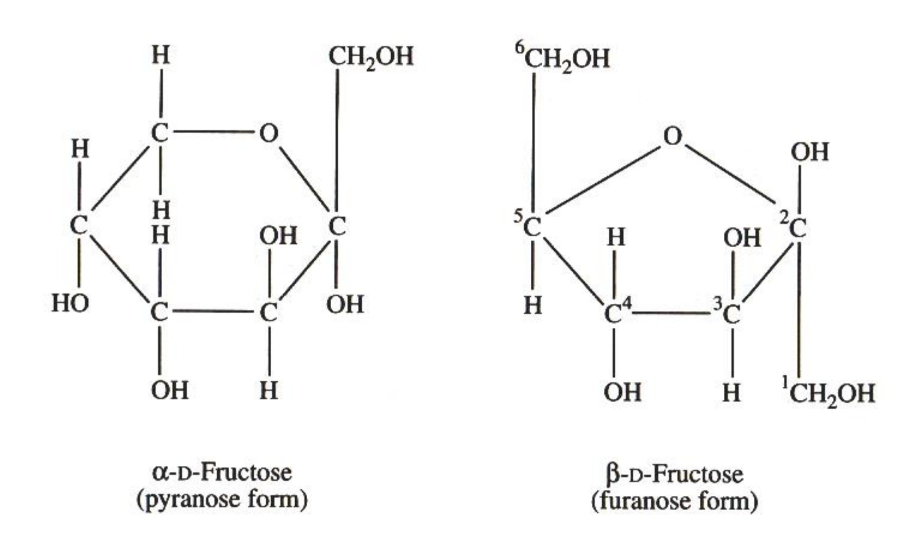
يحتوي د–جلوكوز على ذرة الكربون السادسة والمتصلة بذرة الكربون رقم 5 ويمكن وجود شكلين من هذا السكر، معروفة كألفا (-α) وبيتا (-β) جلوكوز اعتماداً على وضع ذرة الكربون الأولي (1)، وينتج عن انغلاق الحلقة تكوّن ذرة كربون أخرى غير متماثلة والذي يؤدي إلى مضاعفة عدد السكريات الايزوميرية في أي مجموعة واحدة، ويطلق على أي زوجين متشابهين فراغيا ومرتبطين مع بعضهما كما هو الحال (ألفا α وبيتا β جلوكوز) بالانومرز *Anomers*، ويطلق على ذرة الكربون رقم 1 بذرة الكربون الانوميرية The anomeric carbon atom .

α-D-Glucose

β-D-Glucose

توجد مشتقات لكل من α وβ د–جلوكوز. النشا والجلايكوجين كلاهما بوليمر للشكل α، في حين ان السيليولوز بوليمر من β جلوكوز.

وكما هو الحال في الجلوكوز، يوجد الفركتوز عاديا وتحت الظروف الفسيولوجية كحلقة، والتي يمكن لها ستة ترقيمات ولكنها عامة تكون خمس ترقيمات أو حلقة فيورانوز مشابه لفيوران Furan، وتكون الذرة الانوميرية في شكل الفيورانوز هي ذرة الكربون رقم 2.



α-D-Fructose
(pyranose form)

β-D-Fructose
(furanose form)

خواص السكريدات الأحادية Properties of monosaccharides

نظرا لوجود تجمع الالدهيد أو الكيتون، تعمل السكريدات الأحادية كمواد مختزلة. وتتضح المميزات المختزلة للسكريدات الأحادية غالبا بقدرتها على اختزال ايونات فلزات معينة، نذكر منها النحاس والفضة في محلول قلوي. ويمكن أن يتم اختزال مجاميع الالدهيد أو الكيتون كيميائيا، أو إنزيميا، لإنتاج سكريات كحولية مناظرة. وقد عرضت أمثلة على نواتج الأكسدة والاختزال في الجزء المختص بمشتقات السكريدات الأحادية.

السكريدات الخماسية Pentoses

وللسكريدات الخماسية صيغة عامة هي ($C_5H_{10}O_5$)، ولعل أهم عناصر هذه المجموعة من السكريدات البسيطة هي الالدوزات؛ ل-ارابينوز ، د-زايلوز ود-رايبوز اما الكيتوزات فمنها د-زايلولوز و د-رايبولوز.

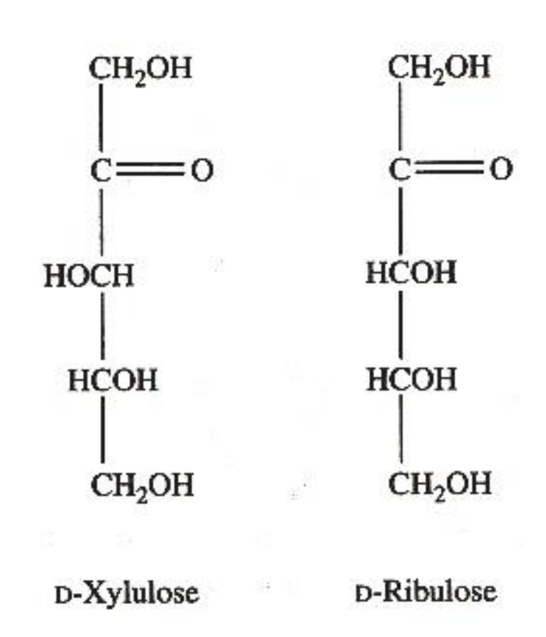
α-L-Arabinose α-D-Xylose α-D-Ribose

α- ل- ارابينوز (α-L-Arabinose): يتواجد في الارابينانز "Arabinans" في صورة بينتوزانز Pentosans وهو من مكونات الهيميسيليولوز "Hemicellulose" ويوجد في السيلاج نتيجة تحلل المركبات التي سبق ذكرها، ويعتبر كذلك من مكونات الصمغ العربي والأصماغ الأخرى.

α- د- زايلوز (α-D-Xylose): ويتواجد أيضاً في صورة بينتوزانز Pentosans وذلك في مركبات الزايلانز Xylans، وتكون هذه المركبات السلسلة الرئيسية في

الهيميسيليولوز في الأعشاب. وينتج الزايلوز مع الارابينوز بكميات كبيرة عند تحلل الأعشاب بواسطة حمض الكبريتيك العادي.

α- د-رايبوز (α-D-Ribose): يوجد في كل الخلايا الحية كمكون للحمض النووي الريبوزي RNA، وكذلك كمكون لعدة فيتامينات ومرافقات إنزيمات. توجد مشتقات فوسفورية للزايلوز والرايبولوز كمركبات وسطية في المسار الأيضي لفوسفات البينتوز.



السكريدات السداسية Hexoses

يعتبر الجلوكوز والفركتوز من أهم السكريات السداسية المتواجدة طبيعيا، بينما يوجد المانوز والجالاكتوز في النباتات في صورة بوليميرية هي ماننانز (Mannans) وجالاكتانز (Galactans).

د- جلوكوز *D-Glucose*: سكر العنب أو ديكستروز Dextrose، يتواجد في حالة حرة وكذلك في صورة مرتبطة، يوجد هذا السكر حرا في النباتات، الفواكه، العسل، الدم، الليمف وفي سائل الحبل الشوكي "Cerebrospinal fluid"، وهو المكون الأساسي أو الوحيد للعدد من السكريدات القليلة والعديدة والجلوكوسيدات Glucosides. ويكون في الحالة النقية الجلوكوز عبارة بللورات بيضاء صلبة وذائبة في الماء حالها حال كل السكريات.

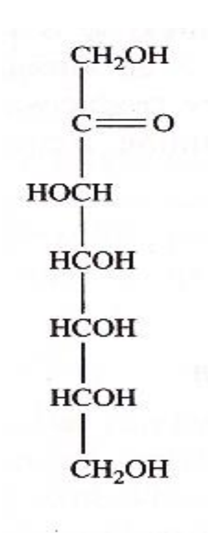
د- فركتوز *D-Fructose*: سكر الفاكهة أو ليفولوز Levulose، ويتواجد حرا في الاوراق الخضراء والفواكه والعسل. ويوجد كذلك في السكريد الثنائي سكروز وفي الفركتانز Fructans. وعادة ما تحتوي المحاصيل الورقية الخضراء كميات كبيرة من هذا السكر في صورة حرة أو متبلمرة. والسكر الحر عبارة عن بللورات بيضاء صلبة وله طعم أحلى من السكروز. ولعلّ الطعم الحلو المميز للعسل يكون بسبب وجود هذا السكر

د- مانوز *D-Mannose*: لا يتواجد حرا في الطبيعة ولكنه يوجد في صورة متبلمرة هي المانّان Mannan، وكذلك في مكونات الجلايكودات البروتينية Glycoproteins. وتتواجد هذه المركبات Mannans وتنتشر بصورة واسعة في الخمائر والفطريات والبكتيريا.

د– جالاكتوز *D- Galactose*: لا يتواجد بصورة حرة في الطبيعة إلا كناتج هدم خلال التخمر. ويكون متواجدا كأحد مكونات السكريد الثنائي لاكتوز، والذي يوجد في اللبن، وكما يتواجد الجالاكتوز كمكوّن لصبغات Anthocyanin، الجلايكودات الليبيدية Glycolipids والصمغ و Mucilage.

الهيبتوزات **Heptoses**

د – سيدوهيبتولوز *D – Sedoheptulose* هو مثال مهم للسكريدات الأحادية التي تحتوي سبع ذرات كربون، ويوجد هذا الهيبتوز في صورة فوسفات، أو كناتج وسطي في المسار الأيضي لفوسفات البينتوز.

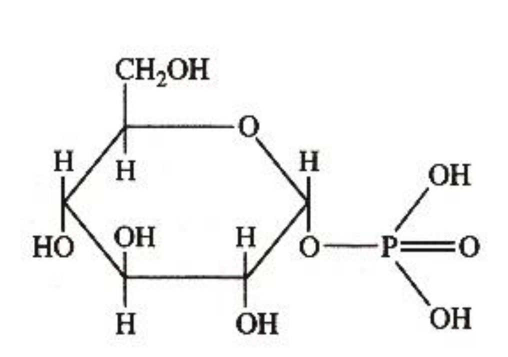


D-Sedoheptulose

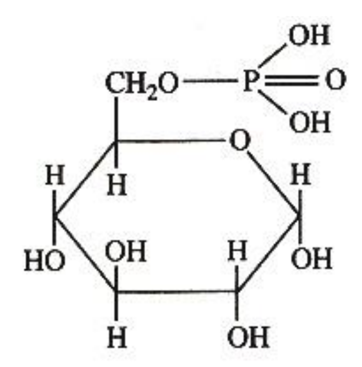
مشتقّات السكريدات الأحادية Monosaccharides derivatives

إسترات حمض الفوسفوريك Phosphoric acid esters

تقوم أسترات حمض الفوسفوريك مع السكريات بدور مهم لتفاعلات أيضية مختلفة. ولعلّ أهم المشتقات الشائعة هي تلك التي تكونت من الجلوكوز، حيث حدثت الأسترة في ذرات الكربون الأولى أو السادسة أو كليهما.



α-D-Glucose 1-phosphate



α-D-Glucose 6-phosphate

السكريات الأمينية: Amino sugars

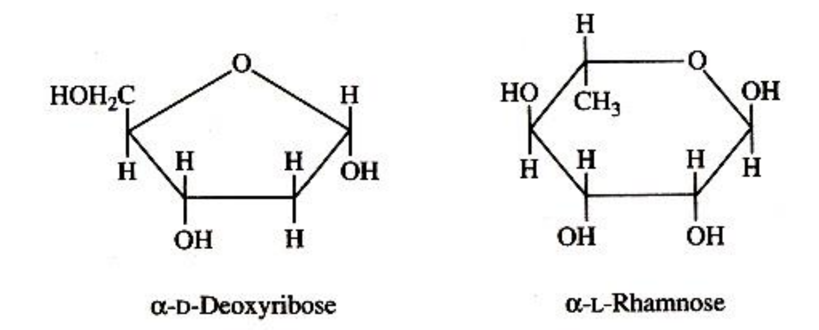
عندما تستبدل مجموعة الهيدروكسيل عند ذرة الكربون الثانية بمجموعة أمينية ($-NH_2$)، فان المركب الناتج هو سكر أميني. اثنان من تلك المركبات المهمة والتي تتواجد

طبيعيا هما: D-Glucosamine، المكون الرئيسي للكيتين، و D-Galactosamine، وهو من مكونات السكريدات المتعددة في الغضروف.

β-D-Glucosamine β-D-Galactosamine

السكريات منزوعة الأوكسجين Deoxy sugars

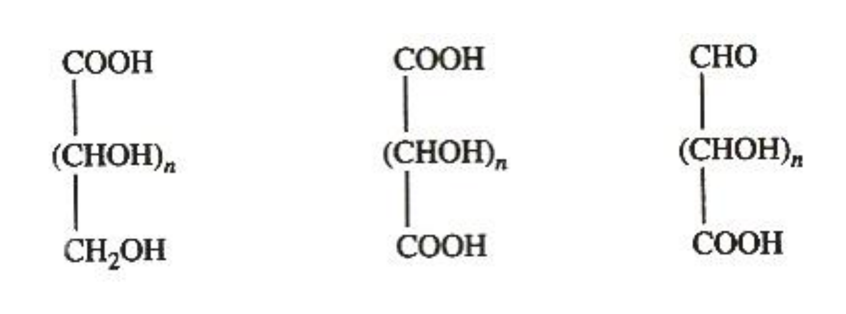
إن استبدال مجموعة هيدروكسيل بذرة هيدروجين ينتج عنه (Deoxy sugar). ديوكسي رايبوز Deoxyribose مشتق من الرايبوز، وهو من مكونات الحمض النووي (Deoxyribonucleic acid ; DNA)، وبالكيفية نفسها فان مشتقات Deoxy لاثنين من الهيكسوزات وهما الجالاكتوز والمانّوز تتواجد في صورة Fucose و Rhamnose على التوالي، وهذه من مكونات السكريدات المتعددة غير المتجانسة.



الأحماض السكرية Sugar acids

يمكن أكسدة الالدوزات Aldoses لإنتاج عدد من الأحماض والتي من أهمها:

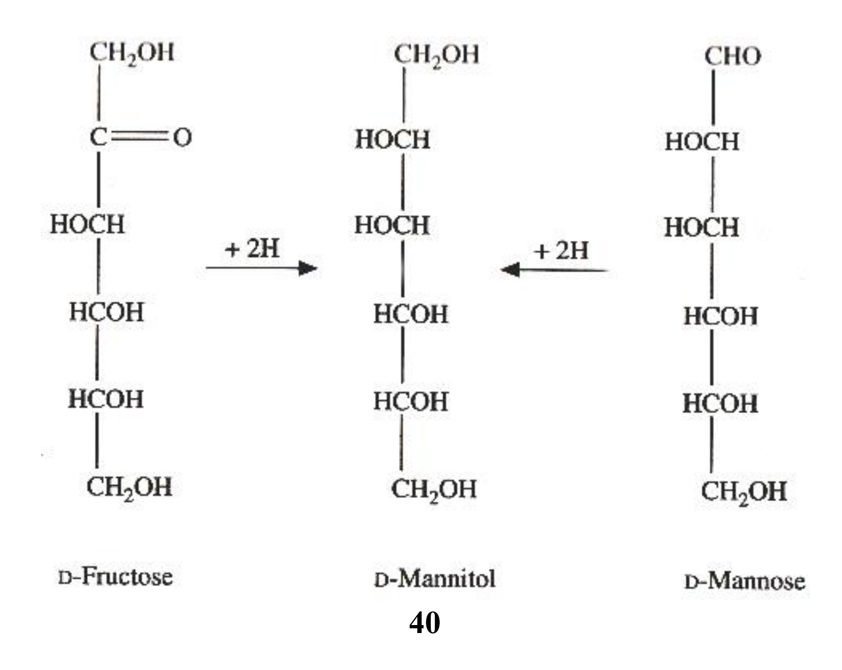
Aldonic acids، Aldaric acids و Uronic acids.



وفي حالة الجلوكوز فان المشتقات المناظرة لهذه الصيغ هي جلوكونك Gluconic، جلوكاريك Glucaric و جلوكورونك Glucoronic acids على التوالي. من هذه المركبات، فان اليورونك Uronic acids وخاصة ذلك المشتق من الجلوكوز والجالاكتوز هي مكونات مهمة من السكريدات المتعددة غير المتجانسة.

الكحولات السكرية Sugar alcohols

يمكن اختزال السكريات البسيطة إلى كحولات عديدة الهايدريد Polyhydric، على سبيل المثال فان الجلوكوز ينتج Sorbitol، كما ينتج الجالاكتوز Dulcitol بينما ينتج كل من المانّوز والفركتوز Mannitol. ويوجد الكحول الأخير في سيلاج الأعشاب ويتكون أيضاً من تأثير بكتيريا لا هوائية معينة على الفركتوز الموجود في الأعشاب.



الجلايكوسيدات Glycosides

عند استبدال ذرة الهيدروجين في مجموعة الهيدروكسيل المتصلة بذرة الكربون الانوميرية Anomeric carbon atom للجلوكوز عن طريق الاسترة أو بواسطة التكثيف بكحول " مشتملا على جزيء سكر " أو فينول، فان المشتق المنتج في هذه الحالة يسمي جلوكوسايد Glucoside. بالطريقة نفسها فإن الجالاكتوز يكوّن جالاكتوسايد Galactoside والفركتوز يكوّن فركتوسايد Fructoside. إن المصطلح العام Glycoside يستعمل للتعبير عن هذه المشتقات جميعها، والرابطة التي تتأثر عبر ذرة الكربون الانوميرية توصف بأنها رابطة جلايكوسيدية Glycosidic bond. وتصنف السكريدات القليلة والسكريدات المتعددة على أنها Glycosides، كما ينتج تحلل هذه المركبات سكريات أو مشتقات السكر. وتحتوي بعض الجلايكوسيدات المتواجدة طبيعيا على بقايا غير سكرية. مثالا لذلك فان النيوكليوسايدز Nucleosides تحتوي على سكر متحد مع قاعدة نيتروجينية ذات حلقة غير متجانسة Heterocyclic (أنظر فصل 4).

يتحررسيانيد الهيدروجين HCN من تحلل Cyanogenetic glycosides وبسبب الطبيعة السمية لهذا المركب فان خطر النباتات التي تحتوي هذا النوع من الجلايكوسيدات يكون على الحيوانات كبيراً جداً. ولا يعتبر الجلايكوسيد ساما في حد ذاته ولكن يجب أن

يتحلل قبل حدوث التسمم. ومن ناحية أخرى، فإن الجلايكوسيدات تتحلل بسهولة إلى مكوناتها بواسطة إنزيم يوجد عادةً في النبات.

إن مادة Linamarin (تسمى أيضاً Phaseolunatin) هي مثال على Cyanogenetic glycosides، وتوجد في بذرة الكتان Linseed، Java beans، وفي الكاسافا Cassava. وينصح بطبخ الأغذية التي تحتوي على المواد السابقة إذا قدّمت إلى الحيوانات في شكل رطب أو ثريد وذلك لتثبيط أية إنزيمات موجودة. وعندما يتحلل Linamarin فانه ينتج جلوكوز، أسيتون وسيانيد الهيدروجين. ويوضح الجدول 2.2 أمثلة أخرى على Cyanogenetic glycosides ومصادرها.

جدول 2.2 بعض من أهم الجلايكوسيدات Cyanogenetic glycosides المتواجدة طبيعياً

اسم المادة	مصدرها	نواتج التحلل إضافة إلى الجلوكوز وسيانيد الهيدروجين
Linamarin (Phaseolunatin)	بذرة الكتان ***Linum usitatissimum*** باقلاء جافا ***Phaseolus lunatus*** الكاسافا ***Manihot esculenta***	**Acetone**

Arabinose, Benzaldehyde	بذور الجلبان البري *Vicia angustifolia*	Vicianin
Benzaldehyde	اللوز المر، لب الخوخ، الكرزيات،البرقوق،التفاح وفواكه فصيلة الورديات	Amygdalin
P-hydroxy-benzaldehyde	أوراق الذرة الرفيعة *Surghum vulgare*	Dhurrin
Methylethyl ketone	*Lotus austrlis* ثلاثية الأوراق *Trifolium repens* النفل الأبيض	Lotaustralin

السكريدات قليلة الحدود Oligosaccharides

السكريدات الثنائية Disaccharides

من المحتمل نظريا أن يكون هناك عدد كبير من السكريدات الثنائية، ويعتمد ذلك على السكريدات الأحادية الموجودة وعلي النمط الذي ترتبط به. ويعتبر السكروز، المالتوز، اللاكتوز والسيلوبيوز أهم السكريدات الثنائية من الناحية الغذائية، وجميعها تنتج جزيئين من السكريدات السداسية Hexoses:

$$C_{12}H_{22}O_{12} + H_2O \rightarrow 2C_6H_{12}O_6$$

ويتكون السكروز *Sucrose* من جزيء α–د–جلوكوز وجزيء

β– د – فركتوز مرتبطين مع بعضهما عن طريق جسر من الأوكسجين بين ذرات الكربون الانوميرية المتناظرة 2 ، 1. ونتيجة لذلك، فلا توجد للسكروز مجموعة مختزلة نشطة.

Sucrose

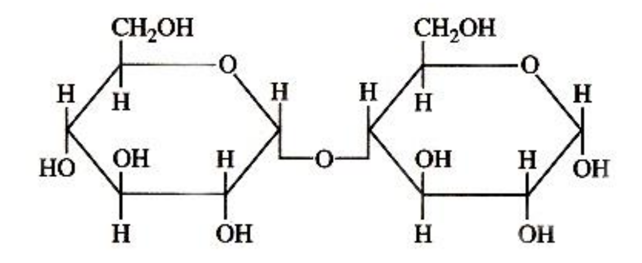
السكروز هو أهم وأكثر السكريدات الثنائية الموجودة في النباتات، حيث يكون هو الشكل الرئيسي لانتقال الكربون. ويوجد هذا السكر الثنائي بتركيزات عالية في قصب السكر (200جم/كجم) وفي بنجر السكر (150– 200 جم/كجم)؛ كما يوجد في الجذور الأخرى مثل شمندر الماشية Mangles والجزر، ويوجد في كذلك في العديد من الفواكه. يتحلل السكروز بسهولة بواسطة إنزيم السكريز Surcase أو بواسطة الأحماض المخففة. عندما يسخن إلى درجة حرارة 160°م فإنه يكون سكر الشعير وعند درجة حرارة 200°م ينتج عنه الكاراميل.

اللاكتوز *Lactose*، سكر اللبن، وهو ناتج في الغدد اللبنية، حيث يحتوي لبن الأبقار على اللاكتوز يتراوح من 43 من 48 جم/كجم. ولا يعتبر اللاكتوز ذائبا كالسكروز واقل حلاوة منه، ولهذا يضفي طعماً ضعيف الحلاوة على اللبن. ويتكون اللاكتوز من جزيء **β–د–جلوكوز** مرتبط مع جزيء **β–د– جالاكتوز** برابطة جلايكوسيدية **(4 → 1) β** وبه مجموعة مختزلة نشطة.

Lactose

يكون اللاكتوز قابلا للتخمر بسهولة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، وتشمل *Streptococcus lactis*، ويكون هذا الكائن الحي يكون مسؤولاً عن حمضة اللبن وذلك من خلال تحويل اللاكتوز إلى حمض اللاكتيك ($CH_3.CHOH.COOH$). عندما يتم تسخين اللاكتوز إلى درجة حرارة 150°م فإنه يتحول إلى اللون الأصفر، وعند درجة حرارة 175°م، فإن هذا السكر يتغير إلى مركب بني اللون، لاكتوكاراميل. وعندما يتحلل اللاكتوز ينتج عن ذلك جزيء واحد من الجلوكوز وجزيء واحد من الجالاكتوز.

المالتوز Maltose، أو سكر المالت، وينتج أثناء تحلل النشا والجلايكوجين بواسطة الأحماض المخففة والإنزيمات. و يتم إنتاج هذا السكر من النشا، أثناء عملية استنبات الشعير، وبواسطة تأثير إنزيم الاميليز. بعد التحكم في إنبات الشعير وتجفيفه، فإنه يعرف بالمالت Malt، ويستخدم في صناعة البيرة والمشروبات الكحولية الأخرى. ويعتبر المالتوز قابلاً للذوبان في الماء، ولكنه ليس بحلاوة السكروز. من الناحية التركيبية فهو يتكون من جزيئين من α–د–جلوكوز مرتبطين ببعضهما في المواقع α– 4 ، 1 وبه مجموعة مختزلة نشطة.



Maltose

السيلوبيوز *Cellobiose* لايتواجد في الطبيعة على هيئة سكر حر، ولكنه يمثل الاساس للوحدات المتكررة في السيليولوز. يتكون هذا السكر من جزيئين من **β–** **د–جلوكوز** متصلين برابطة **β – (4 →1)** ، ولا يمكن شطر هذه الرابطة بواسطة الإنزيمات الهاضمة في الثدييات. كما يمكن من ناحية أخرى تحليلها عن طريق الإنزيمات الميكروبية. والسيلوبيوز به مجموعة مختزلة نشطة، وبهذا فهو يشبه المالتوز من هذه الناحية.

Cellobiose

السكريدات الثلاثية Tirsaccharides

الرافينوز Raffinose والكيستوز Kestose وهما من أهم السكريدات الثلاثية المتواجدة في الطبيعة، كلاهما غير مختزلة وعند تحللهما تنتج ثلاثة جزيئات من السكريات السداسية:

$$C_{18}H_{32}O_{16} + 2H_2O \rightarrow 3C_6H_{12}O_6$$

الرافينوز هو السكر الشائع من عناصر هذه المجموعة، ويوجد منتشرا في النباتات وغالبا في شكل سكروز. ويتواجد بكميات قليلة في بنجر السكر كما يتراكم في المولاس أثناء تحضير السكروز التجاري. وتحتوي بذرة القطن على حوالي 80 جم من الرافينوز/كجم. وعندما يتحلل هذا السكر ينتج جلوكوز، فركتوز و جالاكتوز.

الكيستوز وشبيهه الايزوكيستوز، وتوجد في الأجزاء الخضرية وفي بذور الأعشاب، وتتكون هذه السكريدات الثلاثية من جزيء فركتوز مرتبط مع جزيء سكروز.

السكريدات الرباعية Tetrasaccharides

تتكون السكريدات الرباعية من أربعة جزيئات من السكريدات الأحادية. الستاكيوز *Stachyose*، و يوجد احد عناصر هذه المجموعة، في معظم الأحيان في النباتات الراقية في صورة رافينوز وقد تم عزله من حوالي 165 نوعاً. ويعتبر هذا السكر من السكريات غير المختزلة، وعندما يتحلل فإنه ينتج جزيئين من الجالاكتوز، وجزيئاً من الجلوكوز وجزيئاً من الفركتوز.

$$C_{24}H_{42}O_{21} + 3H_2O \rightarrow 3C_6H_{12}O_6$$

السكريدات المتعددة

Polysaccharides

السكريدات المتعددة المتجانسة Homoglycans

تختلف هذه الكربوهيدرات اختلافاً كبيراً عن السكريات، ولعلّ معظمها ذوات أوزان جزيئية عالية، تكونت من أعداد كبيرة من جزيئات البينتوز والهيكسوز. السكريدات المتعددة المتجانسة التفاعلات المختلفة المميزة للالدوزات والكيتوزات. كما أن العديد منها توجد في النباتات كمواد غذائية مخزنة مثل النشا أو كمكونات بنائية مثل السيليولوز.

الارابينانز والزايلانز Arabinans and Xylans

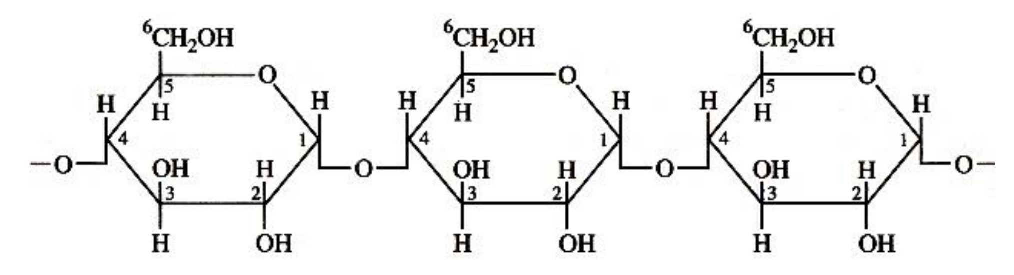
الارابينانز والزايلانز *Arabinans and Xylans* عبارة عن بوليمرات من الارابينوز والزايلوز على التوالي. بالرغم من معرفة سكريدات متعددة متجانسة تتكون من هذه الأنواع من البينتوزات، لكن الشائع أكثر هو وجودها مرتبطة بسكريات أخرى كمكونات للسكريدات المتعددة غير المتجانسة.

الجلوكانز Glucans

النشا *Starch* ويوجد هذا الجلوكانز في عدة نباتات في صورة كربوهيدرات مخزنة. كما يوجد بكثرة في البذور، الفواكه، الدرنات والجذور. يوجد النشا طبيعياً في شكل حبيبات، حيث تختلف في الحجم والشكل في النباتات المختلفة. وتتكون الحبيبات في طبقات مركزية، وبالرغم من أن الجلوكانز هو المكون الرئيسي لهذه الحبيبات فإنها تحتوي

كذلك مكونات ضئيلة مثل البروتين، الأحماض الدهنية والمركبات الفسفورية والتي قد تؤثر في خصائصها.

تختلف النشويات في مكوناتها الكيميائية، وفيما عدا بعض الحالات النادرة، فإنه عبارة عن مخاليط من أثنين من السكريدات المتعددة والتي تختلف في تركيبها، وهما الاميلوز والاميلوبكتين. وتعتمد النسب الموجودة منها في النشويات الطبيعية على المصدر، بالرغم من أن الاميلوبكتين هو المكون الرئيسي في معظم النشويات، ويعادل حوالي 70 إلى 80 في المائة. ولعلّ أهم اختبار كمي للنشا هو تفاعله مع اليود: حيث يعطي الاميلوز اللون الأزرق العميق ومحاليل الاميلوبكتين تعطي لوناً بنفسجياً مزرقاً أو أرجوانياً. وقد أوضحت دراسة الأجزاء الرئيسية للنشا أن الاميلوز يكون غالبا في تركيب خطي، حيث ارتبطت جزيئات α- د-جلوكوز عن طريق ذرة الكربون الأولى في احد الجزيئات مع ذرة الكربون الرابعة من الجزيء المجاور له، ربما توجد نسبة بسيطة من روابط من نوع (6 → 1) -α . الاميلوبكتين له تركيب يشبه الشجيرة ويحتوي أساساً على روابط (4 → 1)-α . ولكن مع عدد مقدّر من الروابط (6 → 1) -α



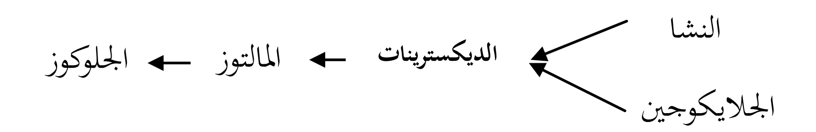
جزء من جزيء الاميلوز يوضح الروابط 1،4

لا تذوب حبيبات النشا في الماء البارد، ولكن عند تسخين معلق النشا في الماء فإن الحبيبات تنتفخ وفي النهاية تتحول إلى قوام هلامي (جيلاتيني). بعد تكوين الهلام، تنتفخ حبيبات نشا البطاطس ثم تنفجر منفتحة. تنتفخ كذلك نشويات الحبوب ولكنها لا تنفجر. تستهلك الحيوانات كميات كبيرة من النشا في الحبوب، والنواتج الثانوية من الحبوب والدرنات.

الجلايكوجين *Glycogen* وهو مصطلح يستخدم للإشارة إلى مجموعة السكريدات المتعددة كثيرة التفرع وقد تم عزلها من الحيوانات والكائنات الحية الدقيقة. ويوجد الجلايكوجين في الكبد، العضلات وأنسجة الحيوان الأخرى. الجلايكوجين، عبارة عن نوع من الجلوكانز Glucans وهو يناظر الاميلوبيكتين في تركيبه، وقد تمت الإشارة إليها بالنشويات الحيوانية. ويعتبر الجلايكوجين هو أهم ناتج من الكربوهيدرات المخزنة في جسم الحيوان ويلعب دوراً أساسياً في أيض الطاقة.

وتختلف الأوزان الجزيئية لجزيئات الجلايكوجين بشكل كبير تبعا لأنواع الحيوانات، وأنواع الأنسجة والحالة الفسيولوجية للحيوان. و يتراوح الوزن الجزيئي للجلايكوجين الموجود في كبد الجرذ، مثلا، من $1 - 5 \times 10^{8}$، بينما للجلايكوجين المعزول من لحم الجرذ وزن جزيئي اقل وهو حوالي 5×10^{6}.

الديكسترينات *Dextrins* هي عبارة عن نواتج وسطية من تحلل النشا والجلايكوجين:



تذوب الديكسترينات في الماء وتنتج محاليل شبيهه بالصمغ. وتكون العناصر العالية من هذه النواتج المؤقتة لوناً احمر مع اليود، بينما لا تعطي العناصر الأصغر أي لون. إن وجود الديكسترينات هو الذي يعطي نكهة مميزة لقشرة الرغيف، وأغذية الحبوب المحمسة جزئياً.

السيليولوز *Cellulose*: هو أكثر بوليمر منتظم يوجد في المملكة النباتية، مكوناً التركيب الأساسي لجدران الخلايا النباتية. كما يوجد كذلك في شكل نقي تقريباً في القطن.

السيليولوز النقي عبارة جلوكانز متجانس Homoglucans وهو ذو وزن جزيئي عال حيث يمثل السيلوبيوز وحداته المتكررة. وتكون وحدات بيتا-جلوكوز في هذه الحالة مرتبطة بروابط 4 ،1 .

Cellulose

تتكون سلاسل السيليولوز بنمط مرتب لإنتاج تجمع منتظم من الليبفات المجهرية (Microfibrils) والتي تنظم مع بعضها بواسطة روابط هيدروجينية بداخل الجزيئات وفيما بينها.

السيليولوز في جدار الخلية النباتية مرتبط وبشدة، طبيعيا وكيميائيا، مع مكونات أخرى، وخاصةً الهيميسيليولوز واللجنين.

الكالوز Callose وهو مصطلح عام لمجموعة من السكريدات المتعددة تتكون من جزيئات من الجلوكوز مرتبطة بروابط بيتا- (1،3) وأحياناً روابط بيتا- (1،4). ويوجد هذا النوع من الجلوكانز في النباتات الراقية كمكونات لأغلفة خاصة تظهر عند مراحل معينة من التطور، ويتكون جزء كبير من غلاف خلية الاندوسبيرم في حبوب الغلال من بيتا-جلوكانز من هذا النوع. وتترسب هذه الأنواع أيضاً في النباتات الراقية استجابة للجروح و العدوى.

الفركتانز Fructans

توجد الفركتانز *Fructans* كمواد مخزنة في الجذور، السوق، الأوراق والبذور في أصناف نباتية مختلفة، ولكن في العائلة المركبة والنجيلية بدرجة خاصة. وقد وجدت الفركتانز في أنواع العائلة النجيلية في المناطق المعتدلة فقط وتذوب هذه السكريات المتعددة في الماء البارد وأوزانها الجزيئية منخفضة نسبيا. وتحتوي كل الفركتانز المعروفة جزيئات بيتا-د-فركتوز مرتبطة بواسطة روابط 2،6 وروابط 2،1. ويمكن تقسيمها إلى مجموعتين:(1) مجموعة

الليفان Levan وتتميز بوجود روابط من نوع 2،6؛ مجموعة الانيولين Inulin وتحتوي روابط من نوع 1 ، 2 ؛ و (3) وتوجد مجموعة فركتانز عالية التفرع، مثلا في عشب الاريكه *Agropyron repense* وفي ابدوسبيرم القمح، وتحتوي هذه المجموعة كلا النوعين من الروابط.

وتنتج معظم الفركتانز عند تحللها، بالإضافة إلى د- فركتوز، وكمية قليلة من د- جلوكوز، والذي يشتق من وحدة السكروز الطرفية في جزيء الفركتانز. والتركيب النموذجي لفركتانز الأعشاب موضح فيما يلي.

Grass fructan (Sucrose residue)

الجالاكتانز والمانانز Galactans and Mannans

الجالاكتانز والمانانز عبارة عن بوليمرات للجالاكتوز والمانوز على التوالي وتوجد في أغلفة الخلايا النباتية. المانانز هو المكون الرئيسي في أغلفة خلايا بذور النخيل، حيث توجد كغذاء مخزن يتلاشى أثناء الإنبات. المصدر الغني بالمانانز هو اندوسبيرم جوزة نوع من شجر

النخيل الموجود في أمريكا الجنوبية *Phytelephas macrocarpa*؛ ويعرف الاندوسبيرم الصلب لهذا الجوز بالعاج النباتي. تحتوي بذور العديد من البقوليات على الجالاكتانز وهذه تشمل، النفل، البرسيم والقضب.

الجلوكوزامينانز Glucosaminans

الكيتين *Chitin* هو المثال الوحيد المعروف من الجلايكانز المتجانسة Homoglycans التي تحتوي على جلوكوزامين، متكونة من بولمر خطي من N-acetyl-D-glucosamine. الكيتين واسع الانتشار في الحيوانات الدنيا كما يوجد بشكل خاص وبكثرة في القشريات، الفطريات وفي بعض الطحالب. ويأتي بعد السيليولوز مباشرة، ومن المحتمل أنه أكثر السكريدات المتعددة من حيث الوفرة.

السكريدات المتعددة غير المتجانسة Heteroglycans

المواد البكتينية Pectic substances

المواد البكتينية هي مجموعة من السكريدات المتعددة المرتبطة بإحكام وهي ذائبة في الماء الساخن وتوجد كمكونات للجدران الأولية للخلايا وفي المناطق بين الخلوية في النباتات الراقية، ويوجد كذلك بكثرة وخصوصاً في الأنسجة الغضة مثل قشرة فواكه الموالح، ولب بنجر السكر. البكتين، وهو العنصر الرئيسي في هذه المجموعة، ويتكون من سلسلة خطية من وحدات من D-galacturonic acid حيث توجد نسب مختلفة من مجموعات من

الأحماض في صورة إسترات الميثايل. تعترض هذه السلاسل وعند مسافات معينة نتيجة إدخال جزيئات سكر ل-رامنوز L-rhamnose. المكونات السكرية الأخرى، مثل -D galactose، L-arabinose، D-xylose توجد متصلة كسلاسل جانبية. حمض البكتين هو عنصر آخر من هذا النوع من المركبات؛ وهو يشبه البكتين من حيث التركيب، لكنه لا يحتوي على مجاميع استرية. المواد البكتينية تظهر عليها الخصائص الهلامية وقد استخدمت على نطاق تجاري في صناعة المربى.

الهيميسيليولوز

Hemicelluloses

يعرف الهيميسيليولوز بأنه مجموعة من السكريدات المتعددة التي توجد في غلاف الخلية وهي قابلة للذوبان في القلويات وهي شديدة الارتباط بالسيليولوز. إن تسميتها بالهيميسيليولوز قد يكون مضللاً ومطبقاً بطريقة خاطئة لأن ذلك يشير إلى أن هذه المادة يمكن تحولها إلى السيليولوز وهذا غير صحيح. ومن الناحية التركيبية، فإن الهيميسيليولوز يتكون أساساً من D-glucose، D-galactose، D-mannose، D-xylose و L-arabinose وهذه الوحدات مرتبطة ببعضها بتوليفات وروابط جلايكوسيدية مختلفة، وقد تحتوي كذلك على أحماض يورونك uronic acids.

يحتوي هيميسيليولوز الأعشاب سلسلة رئيسية من الزايلان xylan تتكون من ارتباط وحدات D-xylose بروابط **β- (1 ← 4)** وتحتوي على سلاسل جانبية تتكون من methyl-glucuronic acid واحياناً جلوكوز، جالاكتوز وارابينوز.

الصمغ الراشح Exudative gums

ينتج الصمغ الراشح عادةً من التصدعات أو الأضرار التي تحدث في النباتات وربما تنشأ بشكل رشح طبيعي من الأوراق ولحاء الأشجار. ينتج الصمغ طبيعياً كأملاح، وخاصةً الكالسيوم والماغنيسيوم، وفي بعض الحالات تكون مجموعات الهيدروكسيل مرتبطة بروابط استيرية، عادة في شكل خلات acetates.

الصمغ العربي Acacia gum

وهي مادة مألوفة منذ زمن طويل؛ وعند تحللها تنتج ارابينوز، جالاكتوز، رامنوز وحمض الجلوكورونك.

الهلاميات الحمضية Acidic mucilages

يتم الحصول على الهلاميات الحمضية من لحاء الأشجار، الجذور، الأوراق وبذور بعض الأصناف النباتية. إن هلاميات بذرة الكتان يعتبر مثالا معروفا وعند تحلله ينتج ارابينوز، جالاكتوز، رامنوز وحمض الجلوكورونك.

Hyaluronic acid and chondroitin

تتكون هذه السكريدات المتعددة من وحدات متكررة من السكر الاميني وحمض الجلوكورونيك. Hyaluronic acid والذي يحتوي acetyl-D-glucosamine، وهو يوجد في الجلد، السوائل المفصلية والحبل السري. تكون محاليل هذا الحمض لزجة وتلعب دوراً مهماً في ترطيب المفاصل وحمايتها من الاحتكاك.

chondroitin يشابه Hyaluronic acid من الناحية الكيميائية ولكنه يحتوي على جالاكتوز بدلا من الجلوكوز. استرات الكبريت مع هذا المركب (chondroitin) هي المكون الرئيسي للغضاريف، الأوتار والعظام.

اللجنين Lignin

اللجنين، وهو ليس من الكربوهيدرات ولكنه شديد الارتباط بهذه المجموعة من المركبات، ويعطي خاصية المقاومة الكيميائية والبيولوجية لجدار الخلية والقوة الميكانيكية للنبات. وبتعبير أكثر دقة، فإن مصطلح اللجنين لا يشير إلى مركب مفرد، معروف تماما، ولكنه مصطلح عام يشمل سلسلة كاملة من المركبات المرتبطة بشدة.

اللجنين عبارة عن بوليمر ينشأ من ثلاثة مشتقات من فينايال البروبان Phenyl-propane: وهي كحولات Coumaryl alcohol، Coniferyl alcohol و Sinapyl alcohol. جزيء اللجنين وحدات عديدة من Phenylpropanoid مرتبطة بتراكيب متداخلة ومعقدة.

$CH=CH.CH_2OH$

R R_1

OH

(1) Coumaryl alcohol, where $R = R_1 = H$.
(2) Coniferyl alcohol, where $R = H$, $R_1 = OCH_3$.
(3) Sinapyl alcohol, where $R = R_1 = OCH_3$.

نظراً لمقاومته العالية للتحلل الكيميائي فإن للجنين أهمية خاصة من الناحية الغذائية.

إن وجود ألياف النبات قي قشرة طبيعية من اللجنين يجعل من الصعب الوصول إليها من قبل الإنزيمات والتي يمكن أن تهضمها بسهولة.

هناك دليل على وجود روابط كيميائية بين اللجنين والعديد من السكريدات المتعددة وبروتينات غلاف الخلية النباتية وهذا ما يجعل هذه المركبات غير متيسرة أثناء عملية الهضم.

وتكون المنتجات الخشبية، الدريس الناضج والأتبان غنية باللجنين وبالتالي فإن معامل هضمها منخفض ما لم يتم معاملتها كيميائيا لتكسير الروابط الموجودة بين اللجنين والكربوهيدرات الأخرى.

مراجع الفصل الثاني

1. Aspinall G O (ed.) 1982-85 *The Polysaccharides*, Vols. 1-3. New York, Academic Press.
2. Binkley R W 1988 *Modern Carbohydrate Chemistry*. New York, Marcel Dekker.
3. Dey P M and Dixon R A (eds) 1985 *Biochemistry of Storage Carbohydrates in Green Plants*. London, Academic Press.
4. Duffus C M and Duffus J H 1984 *Carbohydrate Metabolism in Plants*. London, Longman.
5. Stumpf P K, Conn E E and Preiss J (eds) 1988 *The biochemistry of Plants, Vol. 14, Carbohydrates*. New York, Academic Press.
6. Tipson R S and Horton D (eds) *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry* (Annual Volumes since 1945). New York, Academic Press.

الفصل الثالث

الدهون (الليبيدات)

الدهون (الليبيدات) Lipids

الدهون "الليبيدات" هي مجموعة من المواد التي توجد في أنسجة الحيوان والنبات وهي غير قابلة للذوبان في الماء ولكنها قابلة للذوبان في المذيبات العضوية الشائعة مثل البنزين، الاثير والكلوروفورم. وتعمل الدهون "الليبيدات" كناقلات لالكترونات وكناقلات أساسية في التفاعلات الإنزيمية وكمكونات للأغشية البيولوجية، ومصادر ومخازن للطاقة.

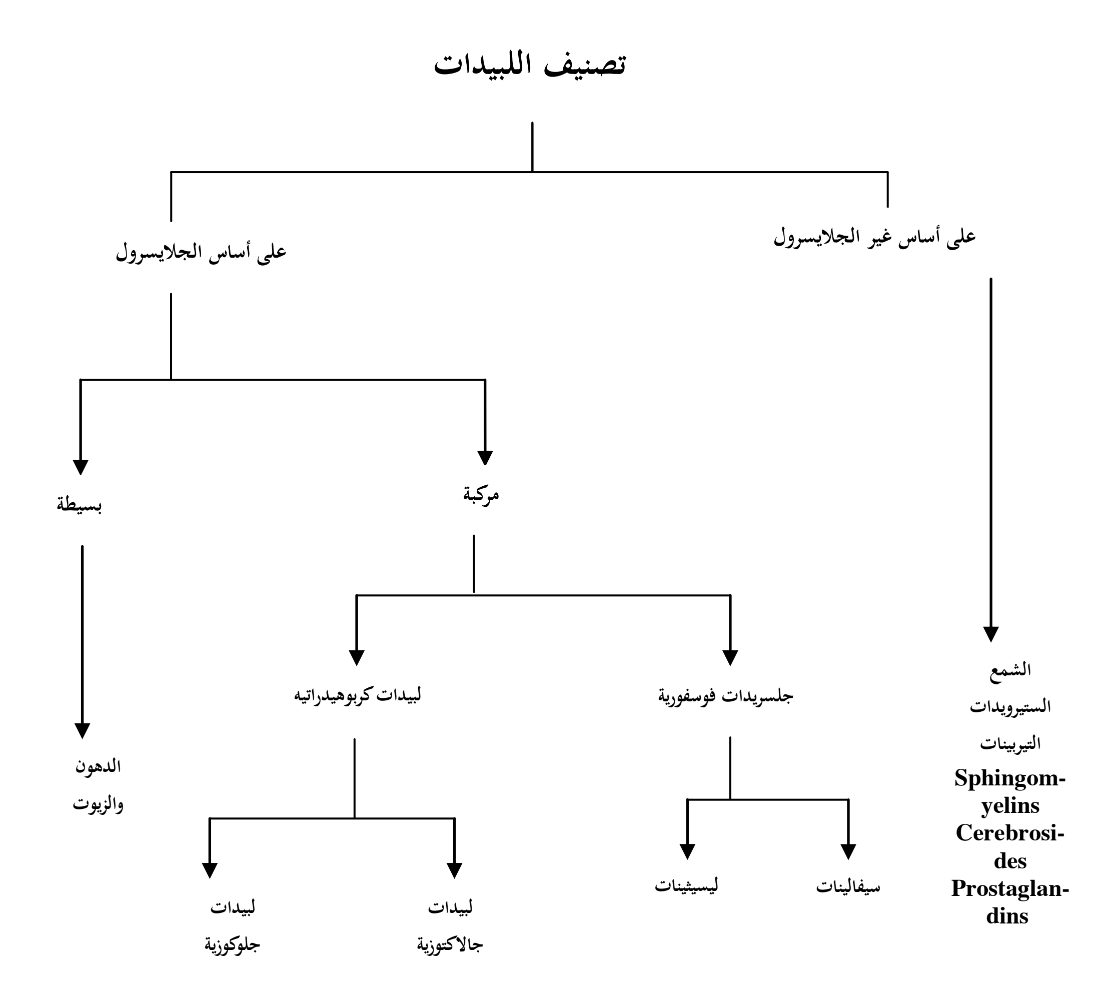
تضمن الليبيدات عند التحليل التقريبي للأغذية في جزء المستخلص الايثيري. ويمكن أن تقسّم كما هو موضح بالجدول 1.3.

يكون الليبيدات النباتية في صورتين، وهما البنائية والتخزينية. ويوجد النوع الأول في المكونات المختلفة للأغشية وأسطح الطبقات الوقائية وهو يمثل حوالي 7% من أوراق النباتات الراقية.

وتكون الليبيدات السطحية عبارة عن شموع بالإضافة إلى جزء بسيط نسبيا من سلاسل طويلة من الهايدروكاربونات، أحماض دهنية والكيتين.الليبيدات الموجودة في الغشاء كما في الميتاكوندريا، الشبكة الاندوبلازمية والأغشية البلازمية معظمها ليبيدات سكرية (40 إلى 50 في المائة) وليبيدات فوسفورية.

توجد الليبيدات التخزينية النباتية في الفواكة والبذور وأغلبها عبارة عن زيوت. و تشكل الليبيدات في الحيوانات، الصورة الرئيسية لتخزين الطاقة، على هيئة دهن والذي ربما يصل إلى حوالي 97 % من النسيج الدهني في الحيوانات السمينة.

جدول (1.3) تقسيم الليبيدات Classification of lipids



ويكون إنتاج الطاقة من الأكسدة التامة للدهن حوالي (39 ميجا جول/كجم مادة جافة) مقارنة بحوالي (17 ميجا جول/كجم مادة جافة) من الجلايكوجين، والذي يكوّن الصورة الرئيسية لتخزين الطاقة من الكربوهيدرات. بالإضافة إلى ذلك فإن الدهن المخزّن

يكون غالباً لا مائي "anhydrous" بينما يكون الجلايكوجين أكثر مائية " highly hydrated".

ويكون الدهن مساوياً لستة أضعاف ما يساويه الجلايكوجين (وزن : وزن) في عمله كمصدر للطاقة المخزنة. يتكون الليبيدات البنائية في أنسجة الحيوان أساساً من الليبيدات الفوسفورية، وتمثل بين 0.5 – 1 في المائة من العضلات والنسيج الدهني، ولكن التركيز في الكبد يكون غالبا بين 2 – 3 في المائة. إن معظم الجزء المهم من غير الجلسريد والليبيد المتعادل في نسيج الحيوان يتكون من الكلسترول وإستراته والتي تكون جميعها من 0.06 إلى 0.09 في المائة من العضلات والنسيج الدهني.

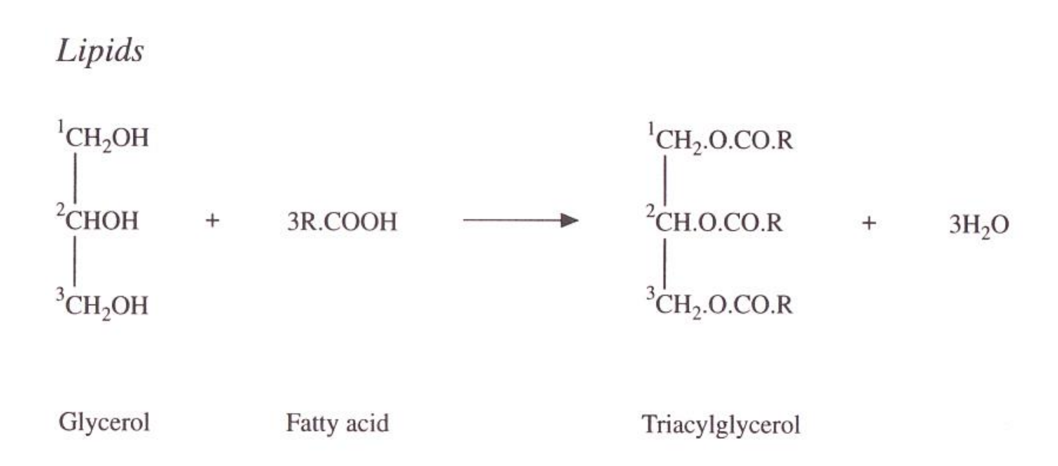
الدهون Fats

الدهون والزيوت هي مكونات لكل من النباتات والحيوانات و مصادر مهمة للطاقة المخزنة، ولكليهما نفس التركيب العام والخصائص الكيميائية بيد أن لهما خصائص طبيعية مختلفة. إن درجات الانصهار للزيوت هي التي جعلتها تكون سائلة عند درجات حرارة الغرفة الاعتيادية. ويستعمل مصطلح زيت في بعض الأحيان كمعنى عام ليشمل كلتا المجموعتين. بالإضافة إلى دوره الرئيسي في توفير الطاقة، فإن الدهن المخزّن يكون مهماً كعازل حراري، وفي بعض الحيوانات ذوات الدم الحار يكون مصدراً للحرارة للمحافظة علي درجة حرارة الجسم. وهناك ترسبات خاصة، تعرف بالدهن البني Brown fat ، وأكسدته غير مرتبطة بإنتاج المركبات الفوسفاتية الغنية بالطاقة ATP (الفصل 9) ولهذا فإن كل الطاقة تتحرر في صورة حرارة.

تزود تلك الأنسجة وبدون تحديد بنواقل لإلكترونات التنفس "الأكسدة" وخاصة السايتوكرومات والتي تكون مسئولة عن لونها البني.

تركيب الدهون **Structure of fats**

الدهون هي إسترات "esters" لأحماض دهنية مع كحول ثلاثي الهيدروكسيل "الغليسرين" ويشار إليها أيضاً بالجلسريدات أو اسيلات الغليسيرين "glycerides or acylglycerols". عندما يتم أسترة كل مجاميع الكحول الثلاثة بأحماض دهنية فإن المركب يكون ثلاثي الغليسرين أو جلاسريد ثلاثي. (triglyceride) :triacylglycerol



تكون ذرات الكربون في الغليسرين محددة بالأرقام 1 ، 2 ، 3 كما هو مبين.

من المهم إدراك أن الأوضاع الثلاثة ليست متماثلة من الخاصية الكيميائية المجسمة ويمكن تمييزها بسهولة من قبل الإنزيمات ومن الممكن أن يؤدي هذا إلى أفضلية في النشاط عند إحدى الأوضاع، وعلى سبيل المثال فإن عملية الفسفرة تحدث غالباً عند ذرة الكربون الثالثة مفضلاً ذلك على ذرة الكربون الأولى. يتواجد ثنائي وأحادي أسيل الغليسيرين طبيعياً ولكن بكميات أقل من صورة ثلاثي الغليسيرين.

يختلف نوع ثلاثي الغليسيرين تبعاً لطبيعة ومكان أجزاء الأحماض الدهنية. ثلاثي الغليسيرين البسيط، ويطلق على تلك التي تحتوي ثلاثة أجزاء من نفس النوع من الحمض الدهني كما هو موضح سابقاً، وعندما يشترك أكثر من حمض دهني واحد في عملية الأسترة فسوف ينتج عنه ثلاثي الغليسيرين المختلط:

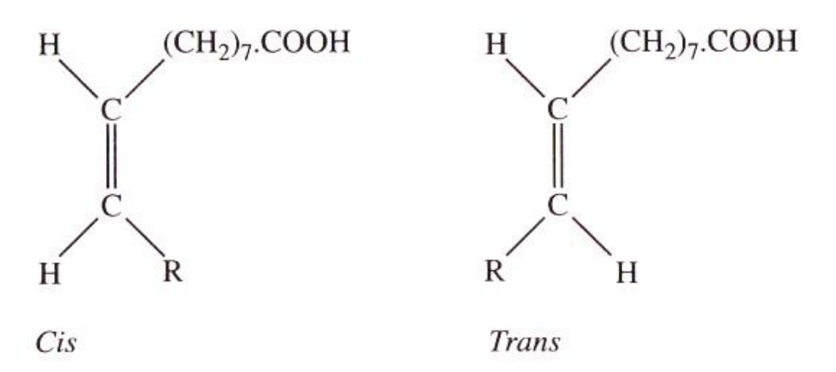
$$\begin{array}{l} CH_2.O.CO.R_1 \\ | \\ CH.O.CO.R_2 \\ | \\ CH_2.O.CO.R_3 \end{array}$$

Mixed triacylglycerol

ثلاثي غليسيرين مختلط

تمثل كل من R1، R2، R3 سلاسل لأحماض دهنية مختلفة. تكون الدهون والزيوت الموجودة في الطبيعة عبارة عن مخاليط من ثلاثي الغليسيرين المختلط، بالرغم من أن الأنواع

البسيطة تتواجد طبيعياً وفي بعض الأحيان تكون هي السائدة. زيت الغار (الإكليل)، على سبيل المثال، يحتوي علي حوالي 31 % من ثلاثي غليسرين حمض اللوريك "lauric acid". ولمعظم الأحماض الدهنية المتواجدة طبيعياً عدد زوجي من ذرات الكربون، والتي يمكن توقعها بالنظر إلى طريقة تكونها (الفصل 9) ومعظمها يحتوي مجموعة كربوكسيل مفردة وسلسلة كربون غير متفرعة والتي يمكن أن تكون مشبعة أو غير مشبعة. تحتوي الأحماض الدهنية غير المشبعة رابطة زوجية واحدة (monoenoic)، رابطتين (dienoic)، ثلاثة (trienoic) أو عدة (polyenoic) روابط زوجية. وغالباً ما يشار إلى الأحماض الدهنية التي بها أكثر من رابطة زوجية واحدة بالأحماض الدهنية غير المشبعة المتعددة polyunsaturated fatty acids (PUEA). وتختلف الأحماض الدهنية غير المشبعة في بعض المميزات الطبيعية والكيميائية عن الأحماض المشبعة في أن درجات انصهارها منخفضة وهي أكثر تفاعلاً. ويشير وجود الرابطة الزوجية في الحمض الدهني إلى أن الحمض يمكن أن يتواجد في صورتين ويعتمد ذلك على الترتيب الفراغي لذرات الهيدروجين المتصلة بذرات الكربون المجاورة للرابطة الزوجية. عندما تقع ذرات الهيدروجين في نفس الجانب من الرابطة الزوجية، ويمكن القول بأن الحمض "*cis*" بينما يقال عنه "*trans*" عندما تقع ذرات الهيدروجين في جوانب متعاكسة كما هو موضح أسفل:



Cis *Trans*

معظم الأحماض الدهنية الموجودة لها الشكل الفراغي cis تكون تسمية الأحماض الدهنية بتبديل حرف "e-" الأخير من اسم الهيدروكربون الأصلي بالمقطع الإضافي" oic-"، وبهذا فإن الحمض المشبع الذي يحتوي 18 ذرة كربون سوف يسمى "octadecanoic" بمقتضى "octadecane" الأصلي. أما الحمض الذي يحتوي رابطة زوجية واحدة وبه 18– ذرة كربون يسمى "octadecenoic " بمقتضى "octadecene".

ويمكن الإشارة إلى وضع الرابطة الزوجية استناداً إلى ذرة الكربون في مجموعة الكربوكسيل "ذرة الكربون رقم 1 ". وهكذا فإن حمض 9 octadecenoic. سوف يحتوي 18 ذرة كربون ورابطة زوجية بين ذرات الكربون 9، 10، وبالمثل سوف يحتوي حمض octadecatrienoic 9-12,15, على 18 ذرة كربون وروابط زوجية بين ذرات الكربون9،10 و 12،13 و 15،16. وكثير ما تختصر الأسماء وذلك بالتعبير على عدد ذرات الكربون متبوعاً بنقطتين(:) يلي ذلك عدد الروابط الزوجية (△)، المواضع المعبر عنها كحرف فوقي superscript، وبهذا فإن حمض octadecatrienoic سوف يرمز له كالآتي $18:3^{\Delta 9,12,15}$.

وغالباً ما يشار إلى ذرات الكربون الثانية والثالثة بـ (α)،(β) على التوالي، وذرة الكربون في مجموعة الميثيل في النهاية الأخرى بذرة الكربون أو ميجا (ω). في الأبحاث المتعلقة بالتغذية تسمى الأحماض المشبعة بالإشارة إلى الميثيل الطرفي على أنها ذرة الكربون الأولى. بهذا النظام فإن حمض 15 octadecatrienoic، 12، 9 سوف يصبح حمض octadecatrienoic 9، 6، 3 – ω حيث أن ذرات الكربون 3، 6، 9 تناظر ذرات الكربون 16، 13 ، 10 تحت النظام السابق. ستكون التسمية الرمزية 3:18 — 9، 3،6–ω وفي بعض الأحيان يستعمل حرف n بدلاً عن ω.

لأغراض معينة فإن الأحماض الدهنية غير المشبعة المتعددة "PUFA" تجمع إلى عائلات مبنية على أوليك (n–9–1:18)، لينوليك (n–6 ،9–2:18) و α– لينولنيك (n–3 ،6، 9–3:18) كمواد بدائية تتشكل منها المواد الأخرى. صنفت العائلات أو ميجا– 9 (ω–9)، أوميجا –6 (ω–6) وأوميجا –3 (ω–3) بالإشارة إلى مواقع الروابط الزوجية الأقرب من ذرة الكربون أوميجا (ω) في هذه الأحماض. ويوضح الجدول (2.3) بعض الأحماض الدهنية الأكثر أهمية.

جدول (2.3) الأحماض الشائعة في الدهون الطبيعية

الحمض	الصيغة	نقطة الانصهار (° م)
أحماض دهنية مشبعة		
Butyric (butanoic)	$C_3H_7.COOH$	7.9 -
Caproic (hexanoic)	$C_5H_{11}.COOH$	3.2 -
Caprylic(octanoic)	$C_7H_{15}.COOH$	16.3
Capric(decanoic)	$C_9H_{19}.COOH$	31.2
Lauric(dodecanoic)	$C_{11}H_{23}.COOH$	43.9
Myristic(tetradecanoic)	$C_{13}H_{27}.COOH$	54.1
Palmitic(hexadecanoic)	$C_{15}H_{31}.COOH$	62.7
Stearic(Octadecanoic)	$C_{17}H_{35}.COOH$	69.6
Arachidic(eiocosanoic)	$C_{19}H_{39}.COOH$	76.3
أحماض دهنية عير مشبعة		
Palmitoleic (9-hexdecenoic) (16:1$^{\triangle 9}$ or n-7-16:1)	$C_{15}H_{29}.COOH$	0
Oleic (Octadecenoic) (18:1$^{\triangle 9}$or n- 9-18:1)	$C_{17}H_{33}.COOH$	13
Linoleic (Octadecadienoic) (18:2$^{\triangle 9,12}$ or n- 6,9-18:2)	$C_{17}H_{31}.COOH$	5 -
Linolenic (Octadecatrienoic) (18:3 $^{\triangle 9,12,15}$ or n-3,6,9-18:3)	$C_{17}H_{29}.COOH$	14.5 -
Arachidonic (eicosatetraenoic) (20:4 $^{\triangle 5,8,11,14}$ or n-8,9,12,15-20:4)	$C_{19}H_{31}.COOH$	- 49.5

أحماض أخرى تحتوي مجموعتين كربوكسيل، أعداد مفردة من ذرات الكربون وسلاسل متفرعة تم عزلها من الدهون الطبيعية ولكن لايمكن اعتبارها ذات أهمية كبيرة. يتم تسميه الغليسيرينات الثلاثية تبعاً للأحماض الدهنية التي تحتويها، مثلاً.

$$\begin{array}{l} CH_2.O.CO.C_{17}H_{33} \\ | \\ CH.O.CO.C_{17}H_{33} \\ | \\ CH_2.O.CO.C_{17}H_{33} \end{array}$$

Trioleoylglycerol (Triolein)

$$\begin{array}{l} CH_2.O.CO.C_{15}H_{31} \\ | \\ CH.O.CO.C_{17}H_{33} \\ | \\ CH_2.O.CO.C_{17}H_{35} \end{array}$$

1-palmitoyl 2-oleoyl 3-stearoylglycerol (Palmito-oleostearin)

الأحماض الدهنية المكونة للغليسيرينات الثلاثية تحدد طبيعتها الفيزيائية، فالتي بها نسبة عالية من ذوات الوزن الجزيئي المنخفض (سلسلة قصيرة) وأحماض غير مشبعه لها درجات إنصهار منخفضة. وهكذا فإن ثلاثي السيتارين (Tristearin) يكون صلباً في درجة حرارة الجسم بينما يكون ثلاثي الأولين "Triolein" سائلاً.

وهناك دليل على أن التوزيع الفراغي "Configuration" لمكونات الغليسيرينات الثلاثية للدهون يمكن أن يؤثر على مدى هضمها، ولذلك فأن حمض البالميتيت polmitate (hexadecanoate) الذي توزّع عشوائياً على مدى المواقع الثلاثية 1، 2، 3. قد وجد أنه أقل قابلية للهضم من ذلك الذي شغل الموقع 2 وهو الموقع المفضل لفعل ليباز البنكرياس pancreatic libase.

الأحماض الدهنية الضرورية Essential fatty acid

في عام 1930 تم أثبات أن حمض اللينوليك (cis,cis-9,12-octadecadienoic) فعال في منع تطور حالات معينة في الجرذان التي أعطيت أغذية خالية تقريباً من الدهن. وتبين على هذه الحيوانات مظهر الجلد الحرشفي و أداء أقل من المثالي في النمو والتكاثر والإدرار، وفي النهاية نفقت. أظهرت دراسات حديثة نطاقاً واسعاً من الأعراض في أجناس مختلفة من الحيوانات بما في ذلك الإنسان.

أثبت أن لحمض اراشيدونيك (all cis-5,8,11,14-eicosatetraenoic) نشاط مساوي وإن لم يكن أكثر من اللينوليك، حمض جاما- لينولينك (all cis-6,9,12-octadecatrienoic) يساوي حوالي 1.5 مره من نشاط اللينوليك. حمض اراشيدونيك وحمض جاما- لينولنيك كلاهما يصنع في الجسم من حمض اللينوليك وهي ليست ضرورية على نحو كامل. ومن ناحية أخرى، فإن واحدة من الخطوات في عملية التصنيع ($\triangle$-6 desaturation)، ذات معدل محدد ويمكن أن ينخفض معدل إنتاجها وأن توفيرها من مصدر خارجي يكون مفيداً.

إن لحمض ألفا- لينولينك (all cis-9,12,15-Octadecatrieonic) له نشاطاً أقل من اللينوليك وحيث أنه لايمكن تصنيعه في الجسم، فقد أعتبر ضرورياً بحق.

يشار إلى أحماض اللينوليك و الفا – لينولنيك بأنها أحماض دهنية ضرورية (EFA). كبقية الأحماض غير المشبعة المتعددة الأخرى فإنها (الأحماض الدهنية الضرورية) تكون جزءاً من الأغشية المختلفة ولها دور في نقل الليبيد وليبوبروتينات إنزيمية معينه.

بالإضافة إلى ذلك فهي مصدر المواد في تصنيع البروستلاجلاندين ، بروستاسايكلين وثرومبوكسين، وهي مواد شبيهه بالهرمونات تقوم بتنظيم عدة وظائف خلوية تشمل تجلط الدم، ضغط الدم والاستجابة المناعية. إن الحاجة إلى المصدر الغذائي من الأحماض تنبع من عدم قدرة الثدييات لإدخال الروابط الزوجية بين ذرة الكربون التاسعة ومجموعة الميثيل الطرفية في سلسلة الحمض الدهني (الفصل التاسع).

منذ بداية المشاهدات الأولية، فقد تجمعت أدلة كثيرة لدعمها ولتوضيح أن الأحماض الدهنية الضرورية (EFA) مطلوبة أيضاً للكتاكيت، الخنازير، العجول والماعز. وقد تبين أن الكتاكيت التي يتم تربيتها على أغذية فقيرة في الدهن قد ظهر عليها معدلات نمو رديئة، تربيش رديء، وذمه " استسقاء موضعي" Oedema و ارتفاع نسبة النفوق في الأسابيع الأولى من الحياة.

الدليل في حالة الخنازير غير واضح، ففي عدة تجارب أظهرت تقرحات جلدية ومعدلات نمو رديئة في حيوانات غذّيت على أغذية منخفضة الدهن. وقد حدثت في بعض الحالات الأخرى حالات جلدية فقط وهذه أمكن التغلب عليها بإضافة زيوت نباتية مهدرجة إلى الغذاء. ولقد تم الآن وبصفه عامة معرفة أن للخنازير متطلبات غذائية من الأحماض الدهنية الضرورية "EFA". المتطلبات الغذائية للخنازير (انظر القراءات الإضافية، الفصل 12) تعطي المتطلبات لخنازير تحت 30 كيلوجرام من الوزن الحي كنسبة 3% من

الطاقة الغذائية المهضومة كحمض اللينوليك أو 2 % من حمض اراشيدونيك، وبالنسبة للخنازير من 30 إلى 90 كيلوجرام فإن المقادير تكون 1.5 % حمض لينوليك و 1 % حمض اراشيدونيك.

تعتبرالبذور الزيتية مصادر غنية بحمض اللينوليك، وكما تعتبر بذرة الكتان على وجه الخصوص مصدراً غنياً بحمض ألفا- لينولينك. إن الخنازير والدواجن والتي عادة لديها كميات كبيرة من مخلفات البذور الزيتية في أغذيتها، تتحصل على مصدر كافٍ من الأحماض الدهنية الضرورية.

تعتمد المجترات وبشكل كبير في متطلباتها الغذائية على العشب وبهذا تزود كميات كبيرة من حمض اللينوليك وكميات أكبر بكثير من حمض اللينولينك. تحدث هدرجة كبيرة في الأحماض الدهنية غير المشبعة في الكرش مما يترتب عنه نقص عام في الأحماض الدهنية الضرورية المتوفرة (EFA) (فصل 8). بالرغم من هذا، فإن احتمالية معاناة المجترات من نقص في الأحماض الدهنية الضرورية يكون ضئيلاً حيث أن لها القدرة على المحافظة على مصادرها الغذائية بكفاءة.

ويمكن للكميات الزائدة من الأحماض الدهنية غير المشبعة في الغذاء أن تزيد من السماكة أو الليونة في دهن خلفيه الخنازير، حفز نقص فيتامين E وبهذا يمكن أن يسبب حالات مثل الحثل العضلي muscular dystrophy (الفصل 5).

مكونات الدهون Composition of fats

قد يكون من المهم في كثير من الأحيان في البحوث الغذائية تقدير نوعية الدهن الذي تم إنتاجه بمعاملة معينة. عندما يؤخذ تأثير الغذاء في الاعتبار، فإن النتيجة تكون واضحة في ليونة أو صلابة الدهن، وربما تحدث تغيرات أقل وضوحاً وهذه تحتاج إلى تقديرات أكثر موضوعية. إن الفروق بين الدهون هي دلالة على مكوناتها من الأحماض الدهنية نظراً لأن الغليسيرين موجود بشكل عام في كل الدهون. بناءً على ذلك، فإن الطريقة المنطقية لتتبع التغيرات في الدهن هي قياس مكوناته من الأحماض الدهنية.

وقد كان تحليل الدهون في الماضي بغرض أحماض دهنية مفردة يشكل مشكلة ولكن إدخال تقنيات مثل التحليل الكروماتوجرافي الغازي gas chromatography أتاح أجراء التحليلات بسهولة ودقة أكثر. بالإضافة إلى توفيره لأداة بحث قيمة، فإن التحاليل الكروماتوجرافية الغازية تعطي معلومات كمية مفصلة عن عدة دهون مختلفة ومكوناتها من الأحماض الدهنية، ولعل هذا يوفر وصفاً وتحديداً أكثر دقة للدهون، وطريقة أكثر دقة للكشف، والتقدير الكمي للغش في دهن أو زيت أكثر مما كان متوفرا في السابق. بعض القيم النموذجية لدهون مختلفة معطاة في الجدول (3.3).

وبصفة عامة، تكون الزيوت النباتية والبحرية، وخاصة التي من الأسماك، غير المشبعة أكثر مقارنة بالتي منشؤها من الثدييات، وهذا بسبب وجود كميات مختلفة من أحماض اللينوليك واللينولينك بالإضافة إلى الأوليك غير المشبع (cis-9-octadecenoic) والذي يعتبر من ناحية كمية هو الحمض الرئيسي في معظم الدهون الطبيعية. تكون نسبة الأحماض غير المشبعة منخفضة في دهن الثدييات المخزن وهناك نسبة عالية من الأحماض المشبعة

ذوات الأوزان الجزيئية العالية مثل البالميتك والستياريك، وبمساهمة قليلة ولكنها جوهرية من أحماض اللوريك lauric (dodecanoic) والمايريستك myristc (tetradecanoic)،

جدول 3.3 نسب الأحماض الدهنية (مل مول/ مول) لبعض الدهون والزيوت الشائعة

أحماض دهنية	زبد اللبن	شحم خنزير	شحم بقري	زيت Sperm whale oil	زيت الفول السوداني	زيت فول الصويا
أحماض مشبعة Saturated						
4:0	90	0	0	0	0	0
6:0	30	0	0	0	0	0
8:0	20	0	0	0	0	0
10:0	40	0	0	0	0	0
12:0	30	0	0	38	0	0
14:0	110	10	70	74	0	0
16:0	230	320	290	94	100	95
18:0	90	80	210	7	97	37
أحماض غير مشبعة Unsaturated						
181:$\triangle^{9}$	260	480	410	325	511	217
182:$\triangle^{9,12}$	30	110	20	5	274	571
183:$\triangle^{9,12.15}$	3	6	-	98	1>	65

ولهذا السبب فإن دهون مثل شحم الخنزير وشحم البقر أو الضأن تكون ثابتة وصلبة بينما الزيوت السمكية والنباتية تكون أكثر طراوة وكثيراً ما تكون زيوتاً حقيقية. في نفس الحيوان الواحد، تحتوي دهون تحت الجلد نسباً أعلى من الأحماض الدهنية غير المشبعة ولهذا فهي أكثر طراوة من الدهن الداخلي بالجسم. وتختلف الصفات الطبيعية للدهون فيما بين الحيوانات،الثدييات البحرية فدهون أجسامها أكثر طراوة مما هو في أجسام الثدييات البرية. ولعلّ السبب في كلتا الحالتين أن دهن الحيوان يحافظ على درجة من قابليتها للتغير "

المطواعية " عند درجة حرارة النسيج والتي تتأثر بدرجات الحرارة المحيطة، ولهذا فإن دهون القدم والأذنين تميل لكونها أبرد من داخل الجسم وتميل كذلك لكونها غير مشبعه.

تتميز دهون لبن المجترات بارتفاع محتواها من الأحماض الدهنية ذات الوزن الجزيئي المنخفض، وهذه تقدر في بعض الأحيان بحوالي 20 % من الأحماض الكلية الموجودة.

ونتيجة لذلك فإنها أكثر طراوة من الدهون المخزنة في الحيوانات المشار إليها، ولكنه ليس طرياً مثل دهون ذات منشأ نباتي أو بحري، فهي نصف صلبة عند درجات الحرارة الاعتيادية. تشابه دهون اللبن في غير المجترات الدهون المخزنة في ذلك الحيوان، وتعتبر أحماض الاوليك، اللينوليك واللينولينك هي السائدة في معظم الزيوت النباتية التجارية والصالحة للأكل. ويستثنى من ذلك زيت جوزة الهند في أن به الحمض المشبع 12:0 اللوريك كحمض رئيسي. وتميل العائلات النباتية إلى إنتاج زيوت مميزة والتي كثيراً ما يسود فيها حمض دهني غير معتاد. حمض ايروسيك "erucic" على سبيل المثال (الفصل23) في بذرة اللفت rape seed؛ حمض ريسينوليك "ricinoleic" وهو يحتوي 18 ذرة كربون monoenoic، حمض هيدروكسي في الخروع وفيرنوليك vernolic 18 – ذرة كربون، "trienoic" حمض أيبوكسي في العائلة المركبة "Compositae".

خصائص الدهون **properties of fats**

التحلل **Hydrolysis**

يمكن أن تحلل الدهون بالغليان مع قلوي لتعطي غليسيرين وصابون Soaps:

$$\begin{array}{l} CH_2.O.CO.R \\ | \\ CH.O.CO.R \\ | \\ CH_2.O.CO.R \end{array} + 3KOH \longrightarrow \begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array} + 3R.COOK$$

Fat Glycerol Soap

يعرف مثل هذا التحلل بالتصبن حيث أنه ينتج صابوناً والذي هو أملاح الأحماض الدهنية مع الصوديوم أو البوتاسيوم ويمكن حدوث هذه العملية بصورة طبيعية تحت تأثير إنزيمات تعرف إجمالا بالليبيز Lipases حيث يشار إليها بالتحلل الليبيزي Lipolysis. ربما يكون للإنزيمات تخصصيه أو أفضلية معينة كحفز التحلل عند مواقع خاصة في الجزيء. إزالة جزئ الحمض الدهني المتصل بذرة الكربون الثانية في اسيل الغليسرين يكون أكثر صعوبة من المتصلة بالمواقع الأولى والثالثة وعادة تكون نواتج التحلل تحت الظروف الطبيعية عبارة عن مخاليط من الغليسريدات الاحادية والثنائية مع أحماض دهنية حرة. ومعظم هذه الأحماض عديمة الطعم والرائحة ولكن بعضاً من الأحماض الخفيفة وخاصة البيوتاريك والكابرويك لها طعم ورائحة قوية جداً P وعندما يحدث مثل ذلك الهدم في الزيوت الصالحة للأكل غالباً ما يجعلها غير مقبولة كلياً من قبل المستهلك. تشتق اللبياز Lipases في معظمها من البكتريا

والفطريات والتي تكون مسئولة كلياً عن هذا النوع من التلف، والذي يشار إليه عموماً بالتزنخ. يحدث تحلل ليبيزي مكثف في دهون الغذاء في الإثنى عشر وخلال امتصاصها في الأمعاء الدقيقة، كما يحدث التحلل أيضاً قبل هدرجة الدهون في الكرش وأكسدتها في الجسم.

الأكسدة Oxidation

تخضع الأحماض الدهنية غير المشبعة إلى التأكسد بسهولة عند ذرة الكربون المجاورة للرابطة الزوجية لتكوين هيدروبيروكسيد "hydroperoxides" تعطي هذه التحللات نواتج بسلاسل أقصر تشتمل على أصول حرة والتي تهاجم أحماضا دهنية أخري بسهولة أكثر من الأكسجين الأصلي. تنتج أكثر أصول حرة :

$$—CH_2.CH:CH.CH_2.CH_2.$$

$$\downarrow O_2$$

$$\underset{\substack{|\\ OOH}}{CH}.CH.:CH.CH_2.CH_2.$$

ونتيجة لذلك تزداد سرعة التأكسد بداله أسية (exponentially). وأخيراً يصبح تركيز الأصول الحرة في وضع يجعلها تتفاعل مع بعضها ثم يتوقف التفاعل. ويوصف مثل هذا التفاعل والذي يتم فيه تحفيز التفاعل بنواتجها بالتحفيز الذاتي (autocatalytic) والتفاعل الذي تم وصفه هنا التأكسد الذاتي (autooxidation). تحفز الأصول الحرة بواسطة الأشعة

فوق البنفسجية وايونات معادن معينة، وخاصة النحاس ووجود أي منها يزيد معدل الأكسدة زيادة قوية.

تشمل نواتج الأكسدة أحماض دهنية ذوات سلاسل أقصر، بوليمرات أحماض دهنية، الدهيدات (aldehydes) = (alkanals) ،كينونات (Ketones) = (alkanones) إيبوكسيدات (epoxides) وهيدروكربونات (hydrocarbons).

الأحماض والالدهيدات هي المسببات الرئيسية للروائح والنكهات المصاحبة للدهن المؤكسد والانخفاض الواضح في مذاقه. تضح قوة هذه المركبات بواسطة 2- deca dienal 4 , والذي يمكن الكشف عنه في الماء عند تركيزات بسيطة تقدر بحوالي واحد في 10000 مليون.

ينتج عن تأكسد الأحماض الدهنية المشتقة ظهور طعم حلو وثقيل ورائحة تعرف عموماً بالتزنخ الكيتوني "Ketonic rancidity".

و ينتج هذا من وجود كيتونات الميثيل الناتجة من التأكسد الذي يمكن توضيحه كما يلي:

$$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}COOH + O \longrightarrow CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}C{:}O{-}CH_2{-}COOH \longrightarrow CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}C{:}O{-}CH_3 + CO_2$$

Caproic acid   Pentanone

تفاعلات مشابهة تعقب التحلل الناتج من التعفن الفطري وتكون هي المسؤولة عن النكهات المميزة لمختلف الأجبان الطرية والزرقاء.

مضادات التأكسد Antioxidants

تظهر الدهون الطبيعية درجة معينة من مقاومة التأكسد وذلك لوجود مركبات تعرف بمضادات التأكسد "antioxidants". تحول هذه المركبات دون تأكسد الدهون غير المشبعة لحين تتحول هي نفسها إلى نواتج ثابتة. هناك عدد من المركبات لها خاصية مضادة التأكسد، وهذه تشمل الفينولات phenols، الكوينونات quinines، التوكوفيرولات tocopherols، حمض الجالّيك gallic acid، والجالّيتات gallates.

في المملكة المتحدة أمكن إضافة:

propyl-, octyl-, or dodecyl-gallate, butylated hydroxy anisole, butylated hydroxytoluene and ethoxyquine

إلى الزيوت الصالحة للأكل بكميات محددة كما ورد في لوائح المواد الغذائية لعام 1991م ، ويمكن أيضاً إضافة ثمانية مواد أخرى مثل α–، γ- , δ–tocopherols المصنعة والمشتقات المختلفة لحمض الاسكوربيك وذلك بدون تحديد.

فيتامين E هو أكثر مضادات التأكسد الموجودة طبيعياً من حيث الأهمية، والذي يحمي الدهن وذلك بتقبله المميز للأصول الحرة والتأثيرات الممكنة لتأكسد الدهن في الأغذية والتي تكون عندها مستويات فيتامين E حديه هي في غاية الأهمية.

الهدرجة Hydrogenation

هي العمليات التي يتم بها إضافة الهيدروجين إلى الروابط الزوجية في الأحماض غير المشبعة في دهن ما وبذلك يتم تحويلها إلى نظائرها المشبعة. حمض أوليك علي سبيل المثال، ينتج حمض ستياريك كما يلي:

$$\begin{array}{c} CH_2 \\ | \\ (CH_2)_7 \\ | \\ CH \\ \| \\ CH \\ | \\ (CH_2)_7 \\ | \\ COOH \end{array} \quad + \quad \begin{array}{c} H \\ | \\ H \end{array} \quad \longrightarrow \quad \begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ (CH_2)_{16} \\ | \\ COOH \end{array}$$

Oleic acid Stearic acid

تكون عملية التصلب hardening مهمة تجارياً لإنتاج دهون قوية صلبة من الزيوت النباتية والبحرية السمكية في تصنيع الزبدة النباتية، المارجرين margarine. ويكون التصلب نتيجة درجات الانصهار العالية للأحماض المشبعة.

يستعمل عاملاً مساعداً لزيادة فعالية التفاعل عمليا، وغالباً يكون معدن النيكل المفتت بدقة. وللتصلب ميزه إضافية في تحسين حفظ نوعيه الدهن حيث أن إزالة الروابط الزوجية يخلصه من المراكز الرئيسية القابلة للتفاعل في المادة.

يحدث للدهن الغذائي المستهلك من قبل المجترات تحلل في الكرش وهذا تعقبه هدرجة متوالية في الأحماض الدهنية غير المشبعة الحرة (أحماض 18:2، 18:3 بالدرجة الأولى) إلى حمض ستيارك، وهذا يساعد في إعادة تشكيل المظهر الشاذ، وفي حين دهونها الغذائية تكون غير مشبعة، فإن دهون الجسم في المجترات تكون أعلى تشبعاً.

الليبيدات الجلايكودية Glycolipids

في هذه المركبات تكون أثنين من مجموعات الغليسيرين مؤستره بأحماض دهنية والأخرى متصلة بجزء من السكر.

تمثل الليبيدات الجلايكودية (حوالي 60 %) في ليبيدات الأعشاب والبقوليات والتي تمثل الجزء الأكبر في الدهون الغذائية للمجترات. وهنا يكون السكر عبارة عن جالاكتوز ولدينا:

Galactolipid

غالباً تكون الليبيدات الجلايكودية في الأعشاب من نوع "monogalactosyl" كما هو موضح سابقاً، ولكن توجد أيضاً كميات قليلة من مركبات "digalactosyl"، وهذه بها اثنان من أجزاء الجلاكتوز عند ذرة الكربون الأولى. تتكون الأحماض الدهنية في الليبيدات الجلايكودية في الاعشاب في معظمها من 95 % حمض α – Linolenic وبإسهام قليل (2 – 3%) من Linoleic. تستطيع الكائنات الدقيقة في الكرش هدم الليبيدات الجالاكتوزية إلى جالاكتوز، أحماض دهنية وغليسيرين. ويظهر أن التحلل المبدئي يكون ضرورياً حتى يمكن تحلل الجلسيريدات الجالاكتوزية بواسطة إنزيمات galactosidases الميكروبية. توجد الليبيدات الجلايكودية غالباً في أنسجة الحيوان مثل الدماغ والألياف العصبية، وفي هذه الحالة فإن الغليسيرين في الليبيدات النباتية يستبدل كوحدة أساسية بقاعدة "Sphingosine" السفينقوسين النيتروجينية.

$$
\begin{array}{c}
\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad OH \;\; NH_2 \\
CH_3.(CH_2)_{12}.CH{:}CH.CH.CH.CH_2OH
\end{array}
$$

Sphingosine

أبسط أشكال الليبيدات الجلايكودية هي cerebrosides تكون المجموعة الأمينية في قاعدة السفينقوسين sphingosine مرتبطة بمجموعة كربوكسيل في حمض دهني طويل السلسلة ومجموعة الكحول الطرفية بها متصلة بجزء من السكر، وغالباً ما يكون جالاكتوز والتركيب النموذجي موضحاً فيما يلي:

Acid

$$
\begin{array}{c}
OH \;\; NH—CO.R \\
CH_3.(CH_2)_{12}.CH{:}CH.CH.CH.CH_2—O—\text{(ring with O)}
\end{array}
$$

Sphingosine Galactose

يوجد في الدماغ مركبات أكثر تعقيداً وهي "gangliosides" وتكون بها مجموعة الكحول الطرفية متصلة بسلسلة متفرعة من السكريات مع حمض سياليك sialic acid كجزء طرفي لأحد السلاسل على الأقل.

الليبيدات الفوسفورية phospholipids

إنّ الدور الأساسي للّيبيدات الفوسفورية أنها من مكونات مجموعة الليبيدات البروتينية في الأنسجة البيولوجية. وتنتشر على نطاق واسع وتكثر على وجه الخصوص في القلب، الكليتين والأنسجة العصبية. ويحتوي النخاعين (المايلين myeline) في المحاور العصبيةnerve axons ،على سبيل المثال، 55 % ليبيدات فوسفورية. البيض هو أحد أحسن المصادر الحيوانية وكذلك فول الصويا من بين النباتات التي تحتوي كميات كبيرة نسبياً. بالإضافة إلى الكربون، الهيدروجين والاكسجين فإن الليبيدات الفوسفورية تحتوي الفوسفور.

الجليسيريدات الفوسفورية phosphoglycerides

هناك استرات للجليسورل حيث مجموعتين من الكحول فقط مؤستره بأحماض دهنية والثالثة مؤستره مع حمض الفوسفور. لهذا فإن المركب الأصلي للغليسيريدات الفوسفورية هو حمض phosphatidic والذي يمكن اعتباره أبسط الغليسيريدات الفوسفورية.

$$\begin{array}{l} CH_2.O.CO.R_1 \\ | \\ CH.O.CO.R_2 \\ | \qquad\quad O \\ CH_2.O \quad \overset{\vdots}{P}.OH \\ \qquad\qquad | \\ \qquad\qquad OH \end{array}$$

Phosphatidic acid

يشار إلى الغليسيريدات الفوسفورية بصفه عامة بالفوسفاتيدز "phosphatides" توجد في أغلب المركبات المهمة بيولوجياً، رابطة استيريه بين مجموعة الفوسفات مع أحد من

الكحولات العديدة وإشهرها السيرين، الكولين، الغليسيرين، إينوسيتول وإيثانول أمين الأحماض الرئيسية الموجودة هي المشبعة والتي تحتوي 16 أو 18 ذرة كربون وكذلك monoenoic وذلك بالرغم من وجود أحماض أخرى بها 14 إلى 24 ذرة كربون أيضاً.

الليسيثينات Lecithins والسيفالينات cephalins من أهم الغليسيريدات الفوسفاتية الشائعة في النباتات الراقية والحيوانات.

الليسيثينات "*Lecithins*" يكون حمض الفوسفور فيها مرتبطاً برابطة استيريه مع الكولين وبأكثر دقة يطلق عليه Phosphatidyl choline والمثال النموذجي له الصيغة:

$$
\begin{array}{l}
CH_2.O.CO.C_{15}H_{31} \\
| \\
CH.O.CO.C_{17}H_{33} \\
| \\
CH_2.O.\ PO_3.CH_2.CH_2.N^{+}(CH_3)_3
\end{array}
$$

Lecithin

السيفالينات *Cephalins* وتختلف عن الليسيثينات باحتوائها على إيثانول أمين بدلاً من الكولين ويطلق عليها بدقة "phosphatidyl-ethanolamines" والايثانول أمين له الصيغة الآتية:

$$
\begin{array}{l}
NH_2 \\
| \\
CH_2.CH_2OH
\end{array}
$$

تكون الغليسيريدات الفوسفاتية بيضاء، صلبة شمعية وتتحول إلى اللون البني عندما تتعرض للهواء وذلك نتيجة للتأكسد وما يعقبه من بلمره. ويتضح أن الغليسيريدات الفوسفاتية تذوب عند وضعها في الماء ولكن ذوبانها الحقيقي بطئ جداً، وأن ذوبانها الظاهري يرجع إلى تكوين مواد شبه غروية "micelles". تتحلل الغليسيريدات الفوسفاتية بواسطة إنزيمات الفوسفوليبيز phospholipases المتواجدة طبيعياً والتي تكون متخصصة في شطر روابط معينة في داخل الجزيء لتحرير أحماض دهنية، إسترالفوسفات، الكحول والغليسيرين.

تحرر الكولين والتأكسد الهرمي الإضافي قد أعتبر هو المسؤول على تطور التلف السمكي Fishy taints خلال انطلاق مجموعة ثلاثي ميثيل أمين trimethylamine أو أوكسيدها؛ يعتبر حدوث هذا التلف نتيجة لتأكسد الدهن وليس من هدم الليسثين Lecithin. تتحد كل من مجموعات استر الفوسفات التي تنجذب بقوة للماء وسلاسل الأحماض الدهنية التي لا تنجذب إلى الماء وذلك ضمن نفس الجزيء في الغليسيريدات الفوسفاتية.

لذلك فهي سطح نشط ويمكن أن تقوم بدور مهم كعوامل استحلاب في الأجهزة البيولوجية مثل الاثني عشر. كذلك فإن طبيعة أسطحها النشطة تفسر وظيفتها كمكونات لمختلف الأغشية البيولوجية.

السفينقومايلينات Sphingomyelins

تنتمي السفينقومايلينات إلى مجموعة كبيرة السفينقوليبيد Sphingolipids، والتي تحتوي سفينقوسين Sphingosine بدلاً من الغليسيرين كمادة أساسية وتختلف عن cerebrosides في أن مجموعة الهيدروكسيل الطرفية مرتبطة مع حمض الفوسفوريك بدلاً من جزء سكر. ويرتبط حمض الفوسفوريك برابطة استيريه مع أي من الكولين أو أيثانول أمين.

وتكون المجموعة الأمينية في السفينقومايلينات مرتبطة أيضاً مع مجموعة كربوكسيل في حمض دهني طويل السلسلة عن طريق رابطة بيبتيديه. مثل الليسيتينات والسيفالينات، فإن السفينقومايلينات نشطة السطح وهي مهمة كمكونات الأغشية وخاصة في الأنسجة العصبية. ويمكن أن تشكل 25 % من مجمل الليبيد في الغمد النخاعي myelin sheath والتي تحمي الخلايا العصبية، ولكنها غير موجودة أو توجد بتركيزات منخفضة جداً فقط في النسيج المولد للطاقة.

Sphingosine — Phosphoryl choline

$$CH_3.(CH_2)_{12}.CH{:}CH.CHOH.\underset{\displaystyle NH.CO.R}{\underset{|}{CH}}.CH_2.O.PO_3^-.CH_2.CH_2.N^+(CH_3)_3$$

Sphingomyelin

اللبيبدات الفوسفورية الايثرية **Ether phospholipids**

تكون هذه المركبات مبنية على الغليسيرين ولكن بها الكيل alkyl عوضاً عن مجموعة أسيل acyl عند ذرة الكربون الأولى، كما هو الحال في الغليسيريدات. النموذج هي البلازموجينات plasmalogens والتي تحتوي تجميع من أيثير الفينيل venyl ether كما هو موضح:

$$
\begin{array}{l}
CH_2.O.CH{:}CH.R \\
| \\
CH.O.CO.R \\
| \\
CH_2.O.PO_3^-.CH_2.CH_2.NH_3^+
\end{array}
$$

ويمكن أن تشكل مثل هذه المركبات حوالي 50 من الليبيدات الفوسفورية في نسيج القلب إلا أن وظيفتها غير واضحة.

الشمع Waxes

الشمع عبارة عن ليبيدات بسيطة متكونة من حمض دهني متحد مع كحول monohydric ذو وزن جزيئي مرتفع، و غالباً تكون صلبة في درجة الحرارة الاعتيادية. الأحماض الدهنية الموجودة في الأشماع هي تلك المتواجدة في الدهون بالرغم من أن أحماضاً أقل من اللاوريك lauric تكون نادرة جداً. أحماض عديدة مثل كارناوبيك Carnaubic ($C_{23}H_{47}COOH$) وميلليسيك mellissic ($C_{30}H_{61}COOH$) ربما توجد هي أيضاً. أكثر الكحولات شيوعاً في الشمع هي كارنوبايل Carnaubyl ($C_{24}H_{49}OH$)، مايريسيل myricyl ($C_{31}H_{63}OH$) واسيتيل Cetyl ($C_{16}H_{33}OH$). غالباً يكون الشمع الطبيعي

عبارة عن خليط من إعداد مختلفة من الاسترات. عرف شمع النحل على أنه يتكون من خمس استرات مختلفة على الأقل، والرئيسي منها myricyl polmite:

$$C_{15}H_{31}.COOH + C_{31}H_{63}OH \rightarrow C_{15}H_{31}.COOC_{31}H_{63} + H_2O$$

الشمع واسع الانتشار في النباتات والحيوانات حيث تكون له وظيفة وقائية. إن طبيعة عدم الانجذاب للماء للغلاف الشمعي يقلل فقد الماء الناتج من النتح tranpiration في النباتات ويزود الصوف والريش بحماية ضد الماء في الحيوانات. من بين الشمع الحيواني المعروف Lanolin المأخوذ من الصوف Spermaceti ناتج من حيوانات بحرية. لا يشابه الشمع الدهن فهو غير قابل للتحلل ومن غير المحتمل أن له أي قيمة غذائية. إن وجوده في الأغذية بكميات كبيرة يؤدي إلى تقدير مرتفع للمستخلص الايثيري وربما يسبب تقييماً أكثر مما هو موجود في القيمة الغذائية overestimated.

الستيرويدات Steroids

تشمل الستيرويدات مركبات مهمة بيولوجيا مثل الستيرولات "sterols" وأحماض العصارة الصفراوية، هرمونات الغدة الكظرية والهرمونات الجنسية ولها وحدة تركيبية أساسية عامة حيث تتكون من نواة فينانثرين phenanthrene مرتبطة بحلقة سايكلوبينتين Cyclopentane (شكل 1.3).

Phenanthrene nucleus   Cyclopentane ring

تختلف المركبات الفردية في عدد ومواقع روابطها الزوجية وفي طبيعة السلسلة الجانبية المتصلة بذرة الكربون رقم 17.

الستيرولات **sterols**

يوجد بهذه المجموعة من 8 إلى 10 ذرات كربون في السلسلة الجانبية ومجموعة كحول عند ذرة الكربون رقم 3 ولكن لا توجد مجموعة كربونيل أو كربوكسيل، ويمكن تصنيفها إلى:

1) فايتوستيرولات من أصل نباتي The phytosterols

2) مايكوستيرولات من أصل فطري The mycosterols

3) زو- أوستيرولات من أصل حيواني The zoosterols

لا تمتص الفايتوستيرولات والمايكوستيرولات في القناة الهضمية ولاتوجد في أنسجة الحيوان. الكوليستيرول *Cholesterol* هو زو – أواستيرول يوجد في جميع خلايا الحيوان، وهو مهم بصفة خاصة في الدماغ حيث يكون ما يقارب من 170 جم/كجم من المادة الجافة. كما يعتبر مكوناً أساسياً في أغشية الحيوانات الراقية، وله دور مميز في تنظيم مرونتها،

الكوليستيرول هو الطليع precursor للستيرويدات الأخرى مثل الهرمونات الجنسية وأحماض العصارة الصفراوية وقد اعتبر من قبل عدة خبراء أن وظيفته الرئيسية هي دوره كمادة رئيسية لهذه التصنيعات. تتراوح التركيزات الطبيعية من الكوليستيرول في بلازما الدم من 1.3 إلى 2.6 جم/لتر وحيث أن الكوليستيرول غير قابل للذوبان، فإن استمرارية بقاء مستويات مرتفعة منه في الدم تؤدي إلى ترسبه في جدران الأوعية الدموية وتتصلب (harden) هذه الترسبات وفي النهاية تسبب تصلب الشرايين artherosclerotic plaque ربما يعيق أوعية دموية مهمة وينتج عنه الذبحة الصدرية Myocardial infarction أو خلل شديد ومفاجئ في القلب، السكتة القلبية " Heart attack "

7- ديهايدروكوليستيرول ***7- dehydrocholesterol*** الذي أشتق من الكوليستيرول وهو مهم كمادة أولية لفيتامين D3 والذي ينتج عند تعرض الستيرول إلى الأشعة فوق البنفسجية من الضوء (شكل 2.3)، وهذا توضيح جيد لكيفية أن تغيرات صغيرة نسبياً في التركيب الكيميائي تؤدي إلى تغيرات جذرية في النشاط الفسيولوجي.

أرجوسيترول *Ergosterol* هو فايتوستيرول واسع الانتشار في الطحالب البنية، البكتريا والنباتات الراقية. وهو مهم كمادة أولية للإرجوكالسيفيرول ergocolciferol أو فيتامين D2 والذي يتم تحويله إليه بواسطة الإشعاع فوق البنفسجي (ultraviolet irradiation) ويشبه هذا التغيير ذلك الذي يحدث في تكوين فيتامين D3 من 7- ديهايدروكوليستيرول ويتضمن فتح الحلقة الثانية في الفينانثرين phenanthrene.

7-Dehydrocholesterol

Cholecalciferol
(vitamin D_3)

أحماض العصارة الصفراوية Bile acids

تحتوي أحماض العصارة الصفراوية علي سلسلة جانبية من خمس ذرات كربون عند ذرة الكربون رقم 17، وتنتهي بمجموعة كربوكسيل مرتبطة برابطة آميدية amid مع جلايسين أو تاورين taurine (شكل3.3).

شكل 3.3 Glycocholic acid

تصنع أحماض العصارة الصفراوية من الكوليستيرول و يمثل هذا نقطة النهاية الرئيسية لأيض الكوليستيرول. وتتواجد هذه الأحماض تحت الظروف الفسيولوجية كأملاح ويتم إنتاجها في الكبد، وتخزن في الحويصلة الصفراوية وتفرز في الجزء العلوي للأمعاء الدقيقة، وهنا تقوم بإذابة الدهون الغذائية وتجعلها حساسة أكثر للتحلل وتزداد كفاءة امتصاصها من الامعاء الدقيقة.

الهرمونات الستيرويدية Steroid hormones

تشمل هذه المجموعة الهرمونات الجنسية في الأنثى (الاستروجينات oestrogens)، الهرمونات الجنسية في الذكر (الاندروجينات androgens) والبروجيسترون، وكذلك الكورتيزول، الالدوستيرون والكورتيزون والتي يتم إفرازها بواسطة قشرة الغدة الكظرية، هرمونات الغدة الكظرية هذه لها دور مهم في التحكم في أيض الجلوكوز والدهون.

التيربينات Terpenes

تتكون التيربينات من عدد من وحدات الايزوبرين "isoprene" متصلة ببعضها لتكوّن سلاسل أو تراكيب حلقية والايزوبرين عبارة عن مركب من خمس ذرات كربون بالتركيب التالي:

$$
\begin{array}{l} CH_2{:}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}.CH{:}CH_2 \end{array}
$$

Isoprene

توجد عدة تيربينات في النباتات ولها روائح ونكهات قوية، ومميزة وهي من مكونات الزيوت الضرورية مثل زيت الليمون أو الكافور"Camphor". تستعمل كلمة ضروري هنا للإشارة إلى أن وجود هذه الزيوت جوهري وليست للدلالة على أنها مطلوبة من قبل الحيوانات ومن بين أهم التيربينات النباتية نجد جزء الفايتول phytol في الكلوروفيل، صبغات الكاروتينات، الهرمونات النباتية مثل حمض الجيبريليك giberellic acid وفيتامينات K,E,A. بعض من قرائن الانزيمات وتشمل مجموعة قرين أنزيم Q هي تيربينات توجد في الحيوانات.

الايكوسانويدات Eicosanodis

الايكوسانويدات مجموعة مركبات تشمل البروستاجلانديدات prostaglandins، الثرومبوكسينات "thromboxanes" والبروستاسايكلينات Prostacyclins، والتي لها أصل أيضي عام في أحماض غير مشبعة متعددة (ك20). يخضع الحمض أولاً إلى تشكّل حلقي عند ذرات الكربون 8، 12 لتكوين مركبات والتي تكون مادة الأصل فيها حمض بروستانويك prostanoic acid.

$C_6H_{12}.COOH$

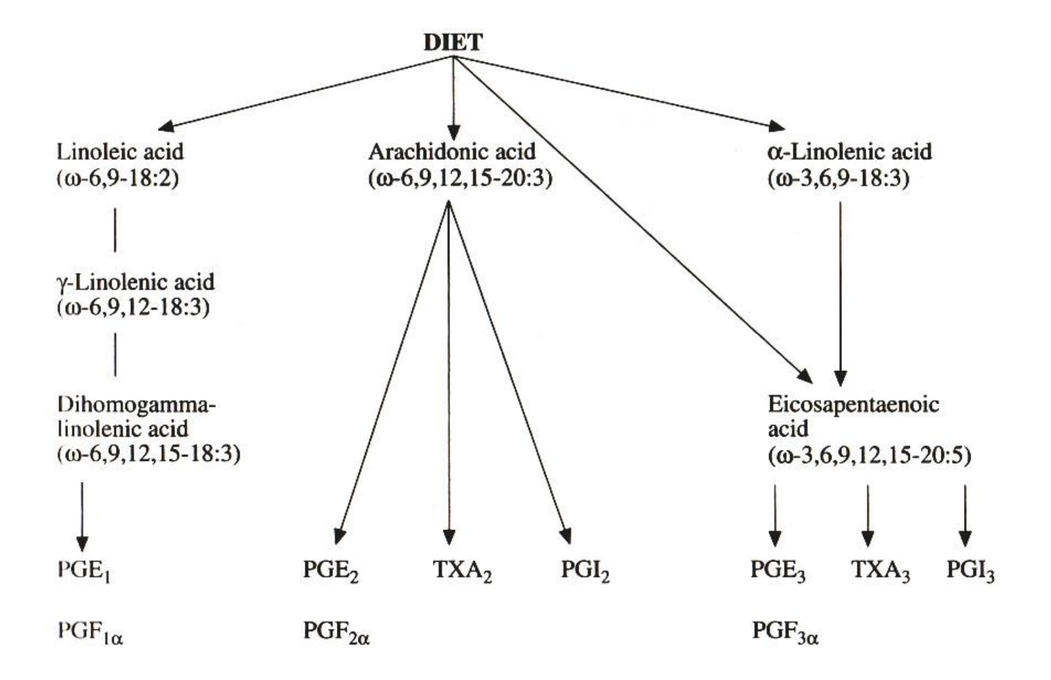
C_8H_{17}

Prostanoic acid

توجد ثلاث مجموعات من البروستاجلانديدات prostaglandins، المجموعة الأولى والثانية تم اشتقاقها من الأحماض الدهنية ω-6 اللينوليك والاراشيدونيك ومجموعة البروستاجلاندينات الثالثة من أحماض ω-3 α - لينولينك وحمض eicosapentaenoic ($20:5^{\triangle 5,18,11,14,17}$). العلاقة بين الأحماض والايكوسانويدات مبينة في شكل 3-4.

هناك حوالي 14 من البروستاجلاندينات المعروفة، تختلف في بدائلها الحلقية وفي عدد الروابط الزوجية في السلاسل الجانبية. ويشير الرقم الموجود بجانب الحرف "Subscript" إلى عدد الروابط الزوجية في السلاسل الجانبية ويبين الدليل الجانبي α مجموعة الهيدروكسيل عند ذرة الكربون رقم 9 بأنها في نفس الجانب من الحلقة الذي توجد به مجموعة الكربوكسيل.

تؤثر البروستاجلاندينات والمواد ذات العلاقة بأيضها في تقلص العضلات الملساء، تجمع الصفائح، توتر الجدار الشرياني وضغط الدم، تثبط إفراز العصارة المعدية وتحرر الأحماض الدهنية في النسيج الدهني ومسببة للالتهابات. نواتج مختلفة يمكن أن تمارس كل، أو بعض فقط من هذه التأثيرات وان شدة واتجاه تناوب أثرها يكون مختلفاً. الثرومبوكسينات فعالة كمحفزات لتجمع الصفائح بينما تكون البروستاسايكلينات فعالة كموانع للتجمع. كما أنها تتأيض إلى مجاميعها من الايكوساينويدات، فإن لحمض eicosapentaenoic تأثيراً تنظيمياً في إنتاج الايكوساينويدات من حمض الاراشيدونيك، كما يوجد في زيوت السمك ويعتقد أنه مسئول عن انخفاض حدوث المشاكل التاجية "القلبية" بين الاسكيمو (Eskimo "Inuit"). وغالباً ما تستخدم البروستلاجلاندينات وخاصة PGF2 في تزامن الشبق في الأغنام والأبقار وتسمح بتحكم دقيق في وقت الولادات في الخنازير.



شكل 4.3 العلاقة بين الأحماض الدهنية الضرورية والايكوسايندات

مراجع الفصل الثالث

1. Enser M The Chemistry and biochemistry of plant fats and their nutritional importance. In Wiseman J (ed.) *Fats in Animal Nutrition*. London, Butterworths.
2. Garton G A 1969 Lipid metabolism of farm animals. In Cuthbertson D P (ed.) *Nutrition of Animals of Agricultural Importance*. Oxford, Pergamon Press.
3. Gurr M I 1984 The Chemistry and biochemistry of plant fats and their nutritional importance. In Wiseman J (ed.) *Fats in Animal Nutrition*. London, Butterworths.
4. Harwood J L 1980 Plant acyl lipids: structure, distribution and analysis. In stumpf P K (ed.) *The biochemistry of Plants*, Vol. 4. London, Academic Press.

الفصل الرابع

البروتينات، الأحماض النووية والمركبات النيتروجينية الأخرى

البروتينات، الأحماض النووية والمركبات النيتروجينية الأخرى

Proteins, nucleic acids and other nitrogenous compounds

البروتينات مركبات عضوية معقدة ذوات وزن جزيئي مرتفع، مثلها مثل الكربوهيدرات والدهون فهي تحتوي على كربون، هيدروجين وأوكسجين ولكن بالإضافة إلى ذلك فإن جميعها تحتوي على النيتروجين وغالباً الكبريت.

البروتينات توجد في جميع الخلايا الحية حيث ترتبط بشده بجميع أشكال النشاط والتي تمثل الحياة للخلية، ولكل نوع بروتيناته المخصصة. كما أن لدى الكائن الفرد عده بروتينات مختلفة في خلاياه وأنسجته ويعني ذلك وجود عدد كبير من البروتينات في الطبيعة.

الأحماض الأمينية Amino acids

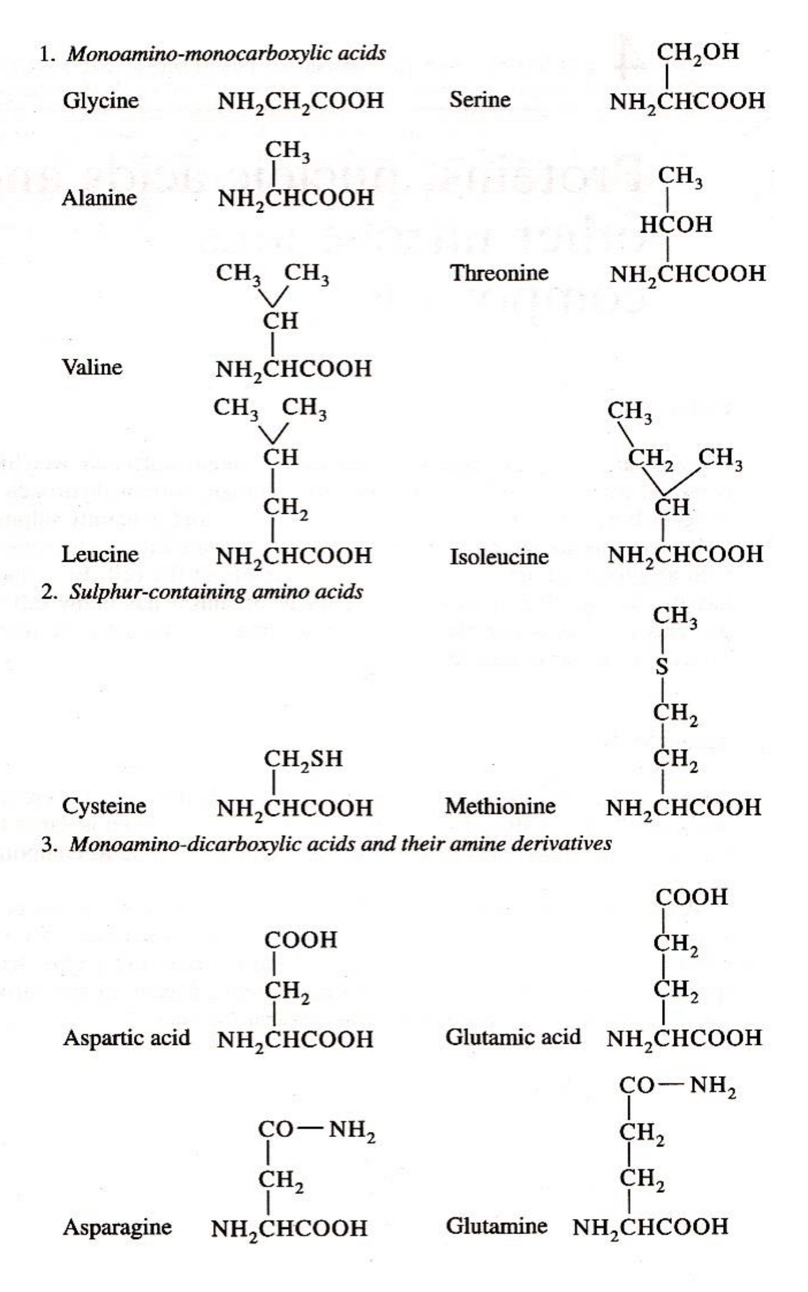
تنتج الأحماض الأمينية عند تحلل البروتينات عن طريق الإنزيمات أو الأحماض أو القلويات، و بالرغم من انه قد تم عزل أكثر من 200 حمض أميني من المواد البيولوجية إلا أن منها 20 فقط يشاع وجودها كمكونات للبروتينات.

تتميز الأحماض الأمينية بأن لديها مجموعة قاعدية نيتروجينية، وهي غالباً مجموعة أمينية ($-NH_2$) ووحدة كربوكسيل حمضية ($-COOH$). معظم الأحماض الأمينية المتواجدة طبيعياً في البروتينات هي من نوع (α)، بها مجموعة أمينية متصلة بذرة الكربون الملاصقة لمجموعة الكربوكسيل ويمكن تمثيلها بالصيغة العامة :

$$
\begin{array}{c}
NH_2 \\
| \\
R - C - H \\
| \\
COOH
\end{array}
$$

يستثنى البرولين بأن لديه مجموعة إمينو (NH) بدلاً من مجموعة الأمين (NH_2). وتختلف طبيعة (R)، والتي تشير إلى السلسلة الجانبية، باختلاف الأحماض، وأبسطها يمكن أن تكون ذرة هيدروجين، كما في الجلايسين، أو ربما تكون أكثر تعقيداً، فعلى سبيل المثال قد تحتوي على مجموعة فينايل. ويوضح الجدول (1.4) التراكيب الكيميائية لعدد 20 حمض أميني شائعة في البروتينات الطبيعية.

جدول 1.4 الأحماض الأمينية الشائعة في البروتينات



4. *Basic amino acids*

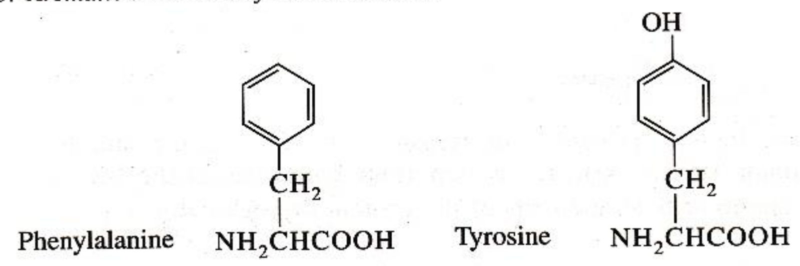
CH_2NH_2
|
CH_2
|
CH_2
|
CH_2
|
Lysine $NH_2CHCOOH$

Histidine

HC—N
‖   CH
C—NH
|
CH_2
|
$NH_2CHCOOH$

NH_2
|
N=NH
|
NH
|
$(CH_2)_3$
|
Arginine $NH_2CHCOOH$

5. *Aromatic and heterocyclic amino acids*



Tryptophan

CH
HC   C—C—CH_2—CH—COOH
| ‖   ‖ |
HC   C   CH NH_2
   CH   N
         H

Proline

CH_2—CH_2
| |
CH_2 CH—COOH
   N
   H

الأحماض الأمينية الخاصة Special amino acids

تحتوي بعض البروتينات على أحماض أمينية خاصة وهي عبارة عن مشتقات من أحماض أمينية شائعة. الكولاجين مثلاً، وهو البروتين الليفي في النسيج الضام، ويحتوي على هيدروكسي برولين وهيدروكسي لايسين وهما مشتقات ناتجة من إضافة مجموعة هيدروكسيد (OH-) للبرولين واللايسين على التوالي.

HO—CH—CH_2
| |
CH_2 CH— COOH
NH

Hydroxyproline

CH_2NH_2
|
CHOH
|
CH_2
|
CH_2
|
NH_2CHCOOH

Hydroxylysine

اثنان من مشتقات التايروسين اليودية وهي تايروسين ثلاثي اليود Triiodothyronine وتايروسين رباعي اليود tetraiodothyronin (ثايروكسين thyroxine) وهي تعمل كهرمونات مهمه في الجسم وهي أيضاً أحماض أمينية من مكونات بروتين الثايروجلوبيولين (thyroglobulin).

Triiodothyronine

Tetraiodothyronine (thyroxine)

حمض γ–كاربوكسي جلوتاميك، حمض أميني يوجد في بروتين الثرومبين (المادة المخثرة للدم) وهو مشتق من حمض جلوتاميك. وهذا الحمض له القدرة على الارتباط بأيونات الكالسيوم ويلعب دوراً مهماً في تخثر الدم.

γ-Carboxyglutamic acid

حمض γ– أمينوبيوتاريك، يعمل في الجسم كناقل عصبي "مرسل عصبي" neurotransmitter ، يوجد أيضاً في السيلاج كناتج من تخمر حمض الجلوتاميك.

$NH_2CH_2CH_2CH_2COOH$
γ-amino butyric acid

السيستئين cysteine وهو حمض أميني يحتوي على الكبريت يحتاج كذلك إلى تنويه خاص. حيث يمكن أن يوجد في البروتينات في صورتين، إما كما هو أو في صورة سيستين Cystine حيث يرتبط جزأن من السيستئين cysteine مع بعضهما بواسطة رابطة كبريتيه مزدوجة disulphide bridge:

$$\begin{array}{ccc} CH_2 - S - S - CH_2 \\ | \quad\quad\quad\quad\quad\quad | \\ NH_2CHCOOH \quad NH_2CHCOOH \end{array}$$

Cystine

خواص الأحماض الأمينية Properties of amino

نظراً لوجود مجموعة الأمين ومجموعة الكربوكسيل، فإن الأحماض الأمينية تكون أمفوتيريه (أي أن لها الخصائص القاعدية و الحامضية معاً). إن جزيئات مثل هذه وبمجموعات قاعدية وحمضية يمكن أن تتواجد كجزيئات غير ذات شحنة (Uncharged)، أو كأيونات ثنائية الأقطاب dipolar وبشحنات أيونية متضادة أو كمخلوط من هذه. وتتواجد الأحماض الأمينية في المحلول المائي كأيونات ثنائية الأقطاب أو أيونات ذات شحنتين موجبة

وسالبة "Zwitter ions" (في كلمة زويتر "Zwitter" الألمانية أي هيرمافرويديت hermaphrodite (خُنثى):

$$R-\underset{\displaystyle COO^-}{\overset{\displaystyle NH_3^+}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-H$$

وغالباً يتواجد الحمض الأميني في المحلول الحمضي القوي كأيون موجب الشحنة (Cation)، بينما في المحلول القلوي يوجد أساساً كأيون سالب الشحنة (anion). توجد قيمة لدرجة تركيز أيونات الهيدروجين (pH) لكل حمض أميني معين والتي يكون عندها متعادل كهربائياً؛ وتعرف هذه القيمة بنقطة التعادل الكهربائية أو التوازن الكهربائي"Isoelectric point.

نظراً لطبيعتها الأمفوتيريه فإن الأحماض الأمينية تعمل كمنظم للحمض والقاعدة معاً وتقاوم التغيرات في درجة تركيز الهيدروجين "pH"، وباستثناء الجلايسين فإن جميع الأحماض الأمينية (α) تكون ذات نشاط ضوئي. جميع الأحماض الأمينية الداخلة في تركيب البروتين لديها التوزيع الفراغي " L " لذرة الكربون. يحدد التوزيع الفراغي عن طريق الصلة بمادة دي جلايسر الدهيد القياسية كما تم وصفه تحت الكربوهيدرات (الفصل 2).

D-Glyceraldehyde	D-Amino acid	L-Amino acid
CHO	$COOH$	$COOH$
$H—C—OH$	$H—C—NH_2$	$NH_2—C—H$
CH_2OH	R	R

الأحماض الأمينية الإجبارية (الضرورية) Indispensable amino acids

إن للنباتات والعديد من الكائنات الدقيقة القدرة على تصنيع البروتينات من مركبات نيتروجينية بسيطة مثل النيترات nitrates. ولا تستطيع الحيوانات تصنيع المجموعة الأمينية، ولكي تبني بروتينات الجسم فمن الواجب أن يكون لديها مصدر للأحماض الأمينية. ويمكن إنتاج أحماض أمينية معينة من الأحماض الأخرى بواسطة عملية تعرف بنقل مجموعة الأمين "transamination" (أنظر الفصل التاسع)، غير أنه لا يمكن تصنيع هياكل الكربون لعدد من الأحماض الأمينية الإجبارية. و قد أجريت معظم الدراسات المبكرة لتحديد الأحماض الأمينية والتي أمكن تصنيفها بأنها إجبارية على الجرذان التي تم تغذيتها أغذية منقّاة.

ولعلّ الأحماض الأمينية العشرة الإجبارية التالية مطلوبة للنمو في الجرذان هي كما يلي:

1- آرجينين Arginine.

2- هستيدين Histidine.

3- أيزوليوسين Isoleucine .

4- ليوسين Leucine.

5- لايسين Lysine.

6- ميثيونين Methionine.

7- فينايل الانين Phenylalanine.

8- ثريونين Theronine.

9- تريبتوفان Tryptophan.

10- فالين Valine.

ويحتاج الكتكوت إلى مصدر غذائي للأحماض العشرة المدرجة أعلاه، ولكن بالإضافة إلى ذلك فإنه يحتاج إلى مصدر غذائي للجلايسين. إن قائمة الأحماض الأمينية الإجبارية المطلوبة للخنزير تكون مشابهة لما أدرج للجرذان باستثناء الارجينين والذي يمكن تخليقه بواسطة الخنزير.

تعتمد الاحتياجات الغذائية الفعلية لأحماض أمينية إجبارية معينة على وجود أحماض أمينية أخرى، والمثال على ذلك أن احتياج الميثيونين يعتمد جزئياً على محتوى الغذاء من السيستائين Cysteine. في حالة المجترات، فإن جميع الأحماض الأمينية الإجبارية يمكن تصنيعها بواسطة الكائنات الدقيقة في الكرش، والتي تجعل فصيلة الحيوان هذه مستقلة عن المصدر الغذائي من الناحية النظرية، طالما استقرت الكائنات الدقيقة في الكرش. من ناحية

أخرى، فإن المعدلات الأعلى من النمو أو أنتاج اللبن لا يمكن تحقيقها في غياب مصدر غذائي للأحماض الأمينية بشكل مناسب.

تركيب البروتينات Structure of proteins

للإفادة فإنه يمكن اعتبار تركيب البروتينات تحت أربعة عناوين أساسية:

التركيب الأوّلي (الأساسي) primary structure

تبنى البروتينات من الأحماض الأمينية عن طريقة رابطة بين α كربوكسيل من حمض أميني و α – مجموعة أمينية لحمض آخر كما هو مبين فيما بعد.

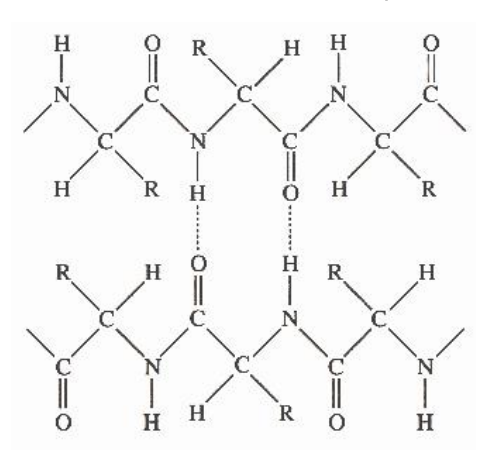
$$H-NH-CHR-CO-OH + H-NH-CHR_1-CO-OH \longrightarrow H-NH-CHR-CO-NH-CHR_1-CO-OH + H_2O$$

يعرف هذا النوع من الربط بالرابطة الببتيدية peptide linkage، وفي المثال المبين تم إنتاج ببتيد ثنائي من اثنين من الأحماض الأمينية. و يمكن يتجمع عدد كبير من الأحماض

الأمينية مع بعضها بواسطة هذه الطرق وبطرد جزئ واحد من الماء عند كل رابطة وذلك لإنتاج ببتيدات متعددة. ويشير مصطلح التركيب الأساسي إلى تتابع الأحماض الأمينية على مدار سلاسل الببتيد المتعدد في البروتين.

التركيب الثانوي **Secondary Structure**

يشير التركيب الثانوي للبروتينات إلى بنيه سلسله الأحماض الأمينية الناتجة من تكوين روابط هيدروجينية بين مجموعة الأمينو ومجموعة الكربونيل في الأحماض الأمينية المتجاورة كما هو مبين في الشكل 1.4



شكل 1.4 التوزيع الفراغي لسلسلة ببتيد متعدد حيث تمثل الخطوط المنقولة والمنقطعة الروابط الهيدروجينية الممكنة.

يمكن أن يكون التركيب الثانوي منتظماً، وفي تلك الحالة تتواجد سلاسل الببتيد المتعدد في شكل من α الحلزوني أو بيتا – صفحة مطوية(β-pleated sheet) أو ربما يكون غير منتظم وتتواجد مثلاً كلولب عشوائي (Random coil).

تركيب الدرجة الثالثة Tertiary Structure

بصف تركيب الدرجة الثالثة كيفية التداخل الإضافي لسلاسل التركيب الثانوي عبر المجاميع الجانبية "R" في أجزاء الأحماض الأمينية. ويسبب هذا التداخل انحناء وانطواء سلسلة الببيتد المتعدد، و يعطي هذا النمط المعين من الانطواء، لكل بروتين خصائص نشاطه البيولوجي.

تركيب الدرجة الرابعة Quaternary Structure

تصل البروتينات إلى تركيب الدرجة الرابعة إذا احتوت على أكثر من سلسلة واحدة من الببيتيد المتعدد. القوي التي تثبت التجمعات هي روابط هيدروجينية وكهربائية ساكنة أو روابط ملحية تكونت بين الجزيئات وعلى أسطح سلاسل الببتيد المتعدد.

خصائص البروتينات Properties of proteins

إن لجميع البروتينات خصائص شبه غروية، تختلف في ذوبانها في الماء، حيث تتراوح من الكيراتين غير الذائب إلى الالبيومين شديد الذوبان.

يمكن للبروتينات الذائبة أن تترسب من المحاليل وذلك بإضافة أملاح معينة مثل كلوريد الصوديوم أو كبريتات الامونيوم. ولعلّ هذا أثر طبيعي وأن خصائص البروتينات لا تتبدل، وكما يمكن عند التخفيف إعادة إذابة البروتينات بسهولة.

بالرغم من أن مجموعتي الأمين والكربوكسيل في الرابطة الببتدية غير عاملة في التفاعلات الحمضية- القاعدية، فإن جميع البروتينات تحتوي عدداً من مجاميع الأمين والكربوكسيل الحرة، إما كوحدات طرفية أو في السلسلة الجانبية كجزيئات الأحماض الأمينية.

ولهذا السبب فإن البروتينات مثلها مثل الأحماض الأمينية تكون امفوتيرية. ويظهر عليها خصائص نقاط تعادل الكهربية ولها خصائص معادلة الحمض أو القاعدة (خصائص المحلول المنظم).

ويمكن لجميع البروتينات أن تفقد طبيعتها الخاصة أو تتغير من حالتها الطبيعية، هذا وقد عرف هذا التغير denaturation عن طريق العالم Neurath وزملائه بأنه:
" أي تحوير غير التحلل البروتيني في التركيب المتميز للبروتين الطبيعي، والذي يسبب تغيرات واضحة في الخصائص الكيميائية والطبيعية والبيولوجية". إن نواتج تحلل البروتين لا تدخل تحت هذا التعريف المحدد. وهناك عوامل عديدة يمكن أن تؤدي إلى تغير البروتينات، و تشمل هذه الحرارة، الأحماض، القلويات، الكحولات، اليوريا "البولينا" وأملاح المعادن الثقيلة. إن تأثير الحرارة على البروتينات يحظى باهتمام خاص في التغذية، حيث أن هذا ينتج روابط جديدة بداخل وفيما بين السلاسل الببتيدية. و تقاوم بعض هذه الروابط الجديدة التحلل بواسطة الإنزيمات المحللة للبروتين (Proteases) والناتجة في القناة الهضمية وتعيق وصولها إلى الروابط الببتيدية المجاورة.

تزداد حساسية البروتينات إلى التلف بالحرارة وبوجود كربوهيدرات مختلفة، والتي تسبب حدوث تفاعلات ميلارد "Maillard-type reactions" التي تشمل في البداية تكثيف بين مجموعة الكربونيل في السكر المختزل مع مجموعة الأمين الحرة من حمض أميني أو بروتين، و يكون اللايسين بصفه خاصة حساساً. ويمكن حدوث تفاعلات إضافية وذلك بزيادة شدة المعاملة بالحرارة وينتج عنها تلون الأطعمة باللون البني " browning of

foods". أن اللون الداكن في الدريس والسيلاج المجفف بدرجات حرارة عالية يدل على هذه الأنواع من التفاعلات.

تقسيم البروتينات Classification of proteins

يمكن تقسيم البروتينات إلى مجموعتين رئيسيتين: بروتينات بسيطة وبروتينات مرتبطة.

البروتينات البسيطة Simple proteins

و تعطي هذه البروتينات عند تحللها أحماضاً أمينية فقط، وهي تقسم ثانية إلى مجموعتين،هما البروتينات الليفية والكروية، وذلك تبعاً للشكل، الذوبان والتكوين الكيميائي.

البروتينات الليفية Fibrous proteins

و يكون لهذه البروتينات، وفي معظم الأحوال، أدوار بنائية في خلايا وأنسجة الحيوان، وهي غير ذائبة ومقاومة جداً للإنزيمات الهاضمة وتتكون من سلاسل خيطية مطوّلة مجتمعة مع بعضها بواسطة روابط متداخلة (Cross-linkages).و تشمل هذه المجموعة الكولاجينات collagens، إلاستين elastins والكيراتينات keratins.

الكولاجينات "*Collagens*" وهي البروتينات الرئيسية في الأنسجة الضامة وتكوّن حوالي 30% من مجموع البروتينات في جسم الثدييات. وكما سبق في ذكره، فإن الحمض الأميني هيدروكسي برولين هو أهم مكوّن للكولاجين. وتتضمن إضافة الهيدروكسيد(-OH) للبرولين لتكوين هيدروكسي برولين وجود فيتامين C، فإذا كان الفيتامين غير كافٍ فإن

إلياف الكولاجين تضعف ويمكن أن تؤدي إلى تقرحات في اللثة والجلد. ولا يوجد الحمض الاميني الإجباري تريبتوفان في هذه البروتينات.

الاستين *Elastin* يوجد هذا البروتين في الانسجة المرنه مثل الاوتار والشرايين.وتكون سلسلة البيبتيد المتعدد في الالاستين غنية بالالانين والجلايسين وهي مرنه جداً وتحتوي على وصلات متضادة تشمل سلاسل اللايسين الجانبية والتي تمنع البروتين من التمدد بشده تحت الشد ويسمح له بالعودة إلى طوله العادي عند زوال الشد.

الكيراتينات *Keratins* تقسم إلى نوعين :

كيراتينات – α وهي البروتينات الرئيسية في الصوف والشعر.

كيراتينات –β وهي توجد في الريش، الجلد، المناقير، وفي قشور معظم الطيور والزواحف.

وتكون هذه البروتينات غنية جداً بالحمض الأميني سيستائين الذي يحتوي الكبريت، حيث يحتوي بروتين الصوف مثلاً على حوالي 4% من الكبريت.

البروتينات الكروية **Globular proteins**

وقد سميت هذه البروتينات بالكروية نظراً لان سلاسل البيبتيد المتعدد فيها مطوية في تركيب مضغوط. و تشمل هذه المجموعة جميع الإنزيمات، ومولدات المضادات "antigens" والهرمونات البروتينية. الالبيومينات "*albumins*" وتأتى في بداية تقسيم هذه المجموعة وهي تذوب في الماء وقابلة للتجلط بالحرارة وتتواجد في اللبن، الدم، البيض وفي عدة نباتات. الهستونات "*histones*" وهي بروتينات قاعدية تتواجد في أنوية الخلايا حيث تكون مصاحبة

للحمض النووي "DNA". وتذوب هذه البروتينات في السوائل الملحية، وهي غير قابلة للتجلط بالحرارة وتنتج كميات كبيرة من الارجينين واللايسين عند تحللها.

البروتامينات "*protamins* " وهي ايضاً بروتينات قاعدية ذات أوزان جزيئية منخفضة نسبياً والتي تكون مصاحبة للأحماض النووية وتوجد بكميات كبيرة في الخلايا الذكرية الناضجة للفقاريات.وهي غنية بالارجينين، ولكنها لا تحتوي كلاً من التايروسين، التريبتوفان أو الأحماض الأمينية التي تحتوي الكبريت.

الجلوبيولينات "*Globulins* توجد في اللبن، البيض والدم وهي البروتين الرئيسي المخزون في العديد من البذور.

البروتينات المرتبطة Conjugated proteins

بالإضافة إلى الأحماض الأمينية، فإن البروتينات المرتبطة تحتوي على جزء غير بروتيني يسمى المجموعة الإضافية Prosthetic group. البروتينات الجلايكودية glycoproteins والبروتينات الليبيدية Lipoprpteins والبروتينات الصبغية chromoproteins هي بعض من أهم الأمثلة على البروتينات المرتبطة.

البروتينات الجلاكودية Glycoproteins

وهي بروتينات بها واحد أو أكثر من السكريدات المتعددة غير المتجانسةHetreroglycans كمجموعة إضافية. في معظم البروتينات الجلاكودية فإن السكريدات المتعددة غير المتجانسة تحتوي هيكسوزامين"hexosamine" والتي إما أن تكون جلوكوز أمين أو جالاكتوز أمين أو كليهما، بالإضافة إلى إمكانية وجود الجالاكتوز والمانوز. البروتينات الجلايكودية هي من مكونات الإفرازات المخاطية والتي تعمل كمادة زيتية

"lubricants" لعدة أجزاء من الجسم. كما أن بروتين الاوفوالبيومين Ovalbumin المخزن في زلال البيض يعتبر كذلك من البروتينات الجلايكودية.

البروتينات الليبيدية Lipoproteins

وهي بروتينات مرتبطة مع ليبيدات مثل ثلاثي اسيل الجليسيرين والكوليستيرول وهي المكونات الرئيسية لأغشية الخلايا وهي أيضاً الشكل الذي تنتقل به الليبيدات في مجرى الدم إلى الأنسجة، إما لغرض الأكسدة أو لتخزين الطاقة، ويمكن تقسيمها إلى ثلاث فئات رئيسية وذلك تبعاً لزيادة الكثافة: كايلوميكرونات "chylomicrons"، بروتينات ليبيدية منخفضة الكثافة low density lipoproteins (LDL) وبروتينات ليبيدية عالية الكثافة high density lipoproteins (HDL).

البروتينات الفوسفورية *phosphoproteins*: وهي التي تحتوي على حمض الفوسفوريك كمجموعة إضافية وتشمل الكازين في اللبن وفوسفوتين phosvitin في صفار البيض.

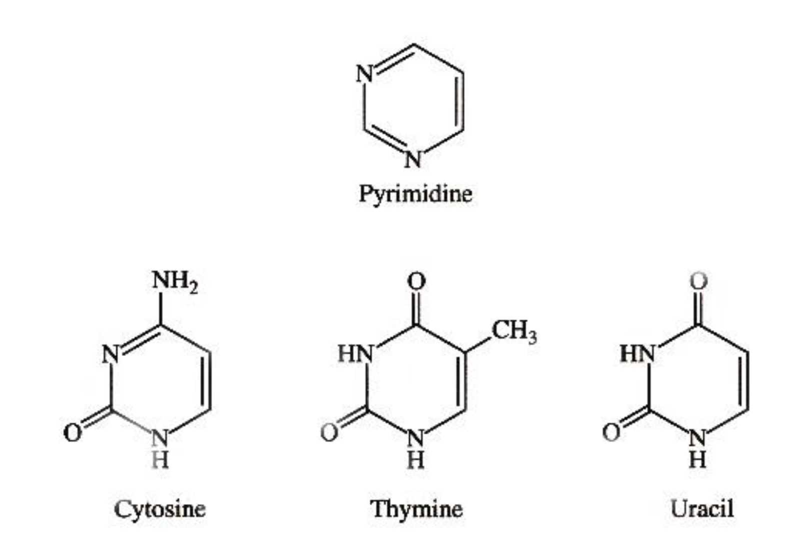
البروتينات الصبغية *chromoproteins*: وهي تحتوي على صبغة كمجموعة إضافية ومن أمثلتها الهيموجلوبين والسايتوكرومات Cytochromes، حيث تكون المجموعة الاضافية مركب الهيم الذي يحتوي، عنصر الحديد والفلافوبروتينات التي تحتوي الفلافين.

الأحماض النووية Nucleic acids

وهي مركبات ذات أوزان جزيئية عالية تلعب دوراً أساسياً في الكائنات الحية كمخزن للمعلومات الوراثية، وهي الوسيلة التي تستخدم بها هذه المعلومات في تصنيع البروتينات.

وتنتج الأحماض النووية عند تحللها مخلوطاً مركبات القواعد النيتروجينية (بيورينات purines) وبايريميدينات Pyrimidines، بنتوز (رايبوز أو ديوكسي رايبوز) وحمض الفوسفوريك.

البايريميدينات الرئيسية الموجودة في الأحماض النووية هي سايتوسين "cytosine" تايمي "thymine" ويوراسيل uracil. ويمكن توضيح العلاقات بين هذه المركبات والمادة الأصلية، بايريميدن فيما بعد.



الادنين adenine والجوانين هي قواعد البيورين الأساسية في الأحماض النووية.

Purine

Adenine

Guanine

المركب المتكون بواسطة اتصال إحدى المركبات النيتروجينية السابقة والبنتوز يسمى نيوكليوسيد nucleoside مثل :

$$\text{Adenine} + \text{D-Ribose} \longrightarrow \text{Adenosine} + H_2O$$

Adenine

D-Ribose

Adenosine

إذا حدث وأن أرتبط نيوكليوسيد مثل الادينوسين برابطة استيرية مع حمض الفوسفوريك فإنها تكون نيوكليوتيدات nucleotides مثل الادينوسين ثلاثي الفوسفات adenosine monphosphate AMP

الأحماض النووية هي نيوكليوتيدات عديدة ذات أوزان جزيئية عالية تقاس عادة بعدة ملايين. ويسمى النيوكليوتيد الذي يحتوي ريبوز بالحمض النووي الريبوزي "RNA" بينما الذي يحتوي ديوكسي ريبوز يشار إليه بالحمض النووي الديوكسي (DNA).

تترتب النيوكليوتيدات في شكل معين، يتكون DNA عادة من جدائل مزدوجة حلزونية أو لولبية (شكل 2.4)، حيث تتكون كل جديلة من وحدات متبادلة من مجموعات

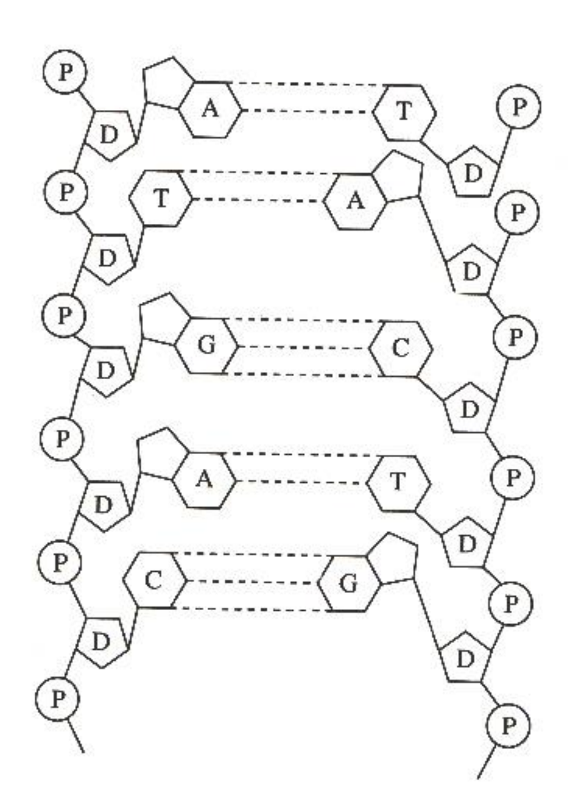
الديوكسي ريبوز والفوسفات. وترتبط إحدى القواعد الأربعة، سايتوسين، ثايمين، ادينين أو جوانين مع كل مجموعة من السكر.

تتجمع القواعد في الجديلتين في الحلزون في أزواج بواسطة روابط هيدروجينية، غالباً ما تقترن قاعدة الثايمين في أحدى الجدائل مع الأدنين في الأخرى، أما السايتوسين فتقترن مع الجوانين. إن تسلسل القواعد على هذه الجدائل يحمل المعلومات الوراثية للخلية الحية، ويوجد حمض DNA في أنوية الخلايا كجزء من تركيب الكروموزوم.

توجد العديد من الأحماض النووية الريبوزية (RNA) المتميزة والتي تحدد بحجم الجزيء، ومكوناتها من القواعد والمميزات أو الخصائص الوظيفية وهي تختلف عن الحمض النووي DNA في جزء السكر وأيضاً في أنواع القواعد النيتروجينية الموجودة. يحتوي الحمض النووي RNA على البايريميدين (يوراسيل) بدلاً من الثايمين. وهناك دليل على أنه بخلاف DNA فإن معظم جزيئات RNA تتواجد في صورة سلاسل مفردة ومطوية مرتبة حلزونياً. وتوجد هناك ثلاثة أشكال من RNA: تسمى RNA الرسول، RNA الريبوسومي وRNA الناقل. إن وظائف هذه الأشكال الثلاثة من الحمض النووي RNA تمت معالجتها في جزء تصنيع البروتين في الفصل التاسع. بصرف النظر عن أهميتها في تركيب الأحماض النووية، فإن النيوكليوتيدات nucleotides تتواجد كمركبات حرة قابلة للتبلمر (monomers)، كما تلعب العديد دوراً مهما في الأيض الخلوي.

لقد تمت الإشارة سابقاً إلى فسفرة "phosphorylation" الادينوسين وذلك لتكوين أدينو سين أحادي الفوسفات (AMP). وتؤدي الإضافات المتتالية لمجموعات الفوسفات إلى

تكوين أدينوسين ثنائي الفوسفات adenosine diphosphate (ADP) ثم أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP)adenosine triphsphate). إن أهمية (ATP) في نقل وتبادل الطاقة تم توضيحه في الفصل التاسع.



شكل 2.4 رسم تخطيطي يمثل جزئ الحمض النووي DNA المشابه للسلم، موضحاً الجديلتين مع جزيئات الفوسفات والديوكسي ريبوز المتعاقبة. وتمثل الخطوط الأفقية إقتران القواعد عن طريق الروابط الهيدروجينية (ممثلة بخطوط متقطعة)

A= أدنين ، T= تايمين ، C = سايتوسين ، G = جوانين

المركبات النيتروجينية الأخرى **Other nitrogenous Compounds**

يتواجد في النباتات والحيوانات أنواع كثيرة من المركبات التي تحتوي النيتروجين، وهي تختلف عن البروتينات والأحماض النووية و غالباً ما تتواجد الأحماض الأمينية الحرة في النباتات مثل حمض جلوتاميك، حمض الاسبارتيك، الالاينن، السيرين، الجلايسين والبرولين هي التي تتواجد بكميات كبيرة. كما توجد مركبات أخرى مثل الليبيدات النيتروجينية، الامينات، الاميدات، البايريميدينات، النيترات والالكالويدات. بالإضافة إلى إن معظم عناصر فيتامين B المركب تحتوي النيتروجين في تركيبها. ومن الواضح أنه يتعذر النظر إلى هذه المركبات بالتفصيل وسوف تناقش فقط بعض الأنواع المهمة والتي لم تذكر من قبل.

الأمينات **Amines**

هي مركبات قاعدية توجد بكميات صغيرة في معظم أنسجة النبات والحيوان، وتتواجد بعضها كنواتج تحلل في المادة العضوية المتحللة، ولها خصائص السمية.

يوجد عدد من الكائنات الدقيقة القادرة على إنتاج أمينات بواسطة إزالة مجموعة الكربوكسيل "decarboxylation" من الأحماض الأمينية (جدول 2.4).

ربما تنتج هذه في الكرش تحت ظروف معينه ويمكن أن تسبب أعراضاً فسيولوجية؛ فالهستامين على سبيل المثال، هو أمين يتكون من الحمض الأميني الهستيدين، ويوجد في الدم بكميات كبيرة نسبياً في حالات الحساسية المفرطة "anaphylactic shock".

تحتوي تخمرات السيلاج والتي تسود بها بكتيريا **clostridia** كميات هائلة من الأمينات (أنظر الفصل 19).

جدول 2.4 بعضاً من أهم الأمينات ومصادرها من الأحماض الأمينية:

الأمين	الحمض الأميني المصدر
Putrescine بتريسين	Arginine ارجينين
Histamine هستامين	Histidine هستيدين
Cadaverine كادافيرين	Lysine لايسين
Phenylethyamine فينايل ميثايل أمين	phenylalanine فينايل الانين
Tyramine تايرامين	Tyrosine تايروسين
Tryptamine تريبتامين	Tryptophan تريبتوفان

و يتكون البيتين Betaine، وهو أمين رباعي tertiary amine بواسطة أكسدة الكولين ويوجد البيتين في بنجر السكر حيث تحتوي الأوراق الغضة حوالي 25جم؛ وهذا الأمين هو المسئول عن نكهة السمك "Fish aroma" والمرتبطة غالباً بالمستخلصات التجارية للسكر الناتج من البنجر. ويمكن أن يتحول البيتين في جسم الحيوان إلى ثلاثي ميثيل أمين trimethyamine وهو الذي يعطي التلوث برائحة السمك "Fish taint" للّبن الناتج من الأبقار التي أعطيت كميات زائدة من مخلفات بنجر السكر.

الاميدات Amides

الاسبارجينين asparginine والجلوتامين glutamine وهي مشتقات أميدية مهمة من الأحماض الأمينية، حمض الاسبارتيك وحمض الجلوتاميك وتصنف هذه الاميدات كأحماض أمينية أيضاً (جدول 1.4) وتوجد كمكونات للبروتينات وتتواجد كذلك في صورة حرة وتلعب دوراً مهماً في تفاعلات نقل مجموعة الأمين.

اليوريا كأميد هي الناتج الرئيسي النهائي لأيض النيتروجين في الثدييات، مع أنها تتواجد في عدة نباتات وقد تم اكتشافها في القمح، فول الصويا، البطاطس، الكرنب.

NH_2

O=C

NH_2

اليوريا

حمض اليوريك Uric acid وهو الناتج النهائي لأيض البيورين في الإنسان والرئيسيات الأخرى ويوجد في البول. أما في تحت الرئيسيات الثديية فيتأكسد حمض اليوريك إلى الانتوين allantion قبل إخراجه، أما في الطيور فإن حمض اليوريك هو الناتج النهائي الأساسي لايض النيتروجين وهو يناظر في وظيفته اليوريا في الثدييات.

Uric acid → Allantoin

النيترات Nitrates

يمكن أن توجد النيترات في المواد النباتية وفي حين أن النيترات Nitrates في حد ذاتها ربما لا تكون سامة للحيوانات فإنها تختزل بسهولة تحت ظروف ملائمة، كما هو الحال في الكرش، إلى نترات Nitrites والتي تكون سامة. ويعزى التسمم بدريس الشوفان " Oat hay poisoning" إلى الكميات الكبيرة نسبياً من النيترات في الشوفان الأخضر، وتبيّن أن هناك مستويات عالية إلى حد ما من النيترات في الأعشاب التي أعطيت كمية مفرطة من الأسمدة النيتروجينية (انظر الفصل 18).

مركبات شبة قلوية Alkaloids

تتواجد هذه المركبات في نباتات معينة فقط، ولها أهمية خاصة، كما أن للعديد منها خواص سامة و يقتصر جودها على رتب قليلة من ذوات الفلقتين.

جدول 3.4 بعضاً من أهم المركبات شبه القلوية الموجودة في النباتات

Name الاسم	Source المصدر
Coniine	**Hemlock** الشوكران أو الشيكران
Nicotine	**Tobacco** التبغ
Ricinine	**Castor plant seeds** بذور نبات الخروع
Atropine	**Deadly nightshade** عنب الثعلب المميت، البلادونة المميته
Cocaire	**Leaves of CaCa plant** اوراق نبات الكوكه
Jacobine	**Ragworth** الشيخه، زهرة الشيخ
Quinine	**Cinchine bark** لحاء شجرة الكينا
Strychnine	**Seed of Nux vomica** جوز الفئ (شجرة يستخرج منه الاستركنين)
Morphine	**Dried latex of opium poppy** اللثي أو لبن شجرة الخشاخش
Solanine	**Unripe potatoes and potato sprsuts** البطاطس غير الناضجة وشطأه البطاطس

مراجع الفصل الرابع

1. Creighton T E 1992 *Proteins: Structures and Molecular Properties*, 2nd edn. Oxford, W H Freeman.
2. Horton H R, Moran L A, Ochs R S, Rawn J D and Scrimgeour K G 1993 *Principles of Biochemistry*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.
3. Lehninger A L, Nelson D L and Cox M M 1993 *Principles of Biochemistry*, 2nd edn. New York, Worth.
4. Mathews C K and Van Holde K E 1990 *Biochemistry*. Redwood City, CA, Benjamin Cummings Publishing Co.
5. Neurath H and Hill R L (eds) *The Proteins*. New York, Academic Press.

الفصل الخامس

الفيتامينات

الفيتامينات Vitamins

إن اكتشاف وعزل العديد من الفيتامينات قد تم أولاً خلال تجارب على الجرذان التي قدمت لها أغذية منقاة بها بروتينات، دهون، كربوهيدرات وأملاح معدنية. باستعمال هذه التقنية أوضح Hopkins في سنة 1912 وقد كانت الأغذية المصنعة من هذا النوع غير كافية للنمو الطبيعي في الجرذان، ولكن هذه الحيوانات تطورت طبيعياً عند إضافة كمية صغيرة من اللبن إلى ذلك الغذاء. وقد برهن هذا على أن هناك عنصراً أو بعض العناصر الضرورية يفتقرها الغذاء النقي.وفي هذا الوقت تقريباً فإن مصطلح "Vitamines" المشتق من أمينات حيوية " Vital amines " قد ابتكر بواسطة Funk لوصف هذه العوامل الثانوية في الغذاء، والتي يعتقد بأنها تحتوي بنيتروجيناً أمينياً. أما الآن فقد عرف بأن القليل فقط من هذه المواد يحتوي نيتروجين أميني، وتم اختصار الكلمة إلى"Vitamins" وهو مصطلح لقي قبولاً عاماً كاسم مجموعة. بالرغم من أن اكتشاف الفيتامينات يؤرخ له من بداية القرن العشرين إلا أن ارتباط أمراض معينة بالنقص الغذائي تم التعرف عليها في وقت مبكر بكثير. ففي عام 1753 قام Lind وهو طبيب في البحرية الانجليزية بنشر مقالة عن الإسقربوط Scurvy مبرهناً على إمكانية الحد من هذا المرض في الإنسان إذا ما تضمنت أغذيتهم خضروات وفواكهه صيفية، ومن ناحية أخرى، فإن تأثير عصير الليمون في معالجة ومنع الإسقربوط عرفت منذ بداية القرن السابع عشر. كما أن استعمال زيت كبد الحوت (Cod-liver oil) في منع الكساح تم إدراكه وأيضا عرف Eijkman في نهاية القرن التاسع عشر أن

البري بري beri-beri مرض شائع في أقصى الشرق ويمكن علاجه عن طريق إعطاء المرضى حبوب الأرز الأسمر " Brown rice " بدلاً من الأرز الملمع Polished rice.

تعرّف الفيتامينات عادة بأنها مركبات عضوية مطلوبة بكميات قليلة للنمو الطبيعي وللمحافظة علي حياة الحيوان، لكن هذا التعريف يهمل جزءاً مهماً تقوم به هذه المواد في النباتات وأهميتها عموما في أيض كل الكائنات الحية.

وتحتاج الحيوانات إلى الفيتامينات بكميات قليلة جداً مقارنة بالعناصر الغذائية الأخرى، فمثلاً احتياجات خنزير وزنه 50 كجم من فيتامين B_1 (الثيامين) هي فقط حوالي 3 ملغ/يوم. وبالرغم من ذلك فإن استمرار نقصه في الغذاء يسبب اضطراباً في الأيض وأخيراً يؤدي إلى المرض. وتعمل بعض المركبات كفيتامينات فقط بعد أن يحدث لما تغيرات كيميائية؛ تشمل مثل هذه المركبات بتا- كاروتين و توصف بعض الستيرولات بأنها طلائع الفيتامينات Provitamins أو Vitamin Precursors. تتلف عدة فيتامينات بواسطة الأكسدة وهي عملية تزداد عن طريق أثر الحرارة، الضوء وبعض المعادن المعينة مثل الحديد. هذه الحقيقة مهمة نظراً لان الظروف التي تخزن بها الأغذية سوف تؤثر في فعالية الفيتامين النهائية. تركب بعض مستحضرات الفيتامينات التجارية في شمع اوجيلاتين والتي تعمل كطبقة وقائية ضد التأكسد. إن نظام تسمية الفيتامينات عن طريق الحروف الأبجدية كان أكثر ملاءَمة ومقبولاً عامة وذلك قبل اكتشاف خواصها الكيميائية، وبالرغم من أن هذا النظام للتسمية لا يزال يستعمل على نطاق واسع لبعض الفيتامينات، فإن الاتجاه الحديث هو استعمال الاسم الكيميائي وخاصة في وصف عناصر " ب " المركب (B-complex).

يوجد 14 فيتامين على الأقل ثم الموافقة عليها وقبولها كعوامل غذاء ضرورية ، وتم كذلك اقتراح البعض الآخر. وسيتم في هذا الفصل التطرق فقط لتلك التي تشكّل أهمية غذائية. إنه من الملائم أن تقسم الفيتامينات إلى مجموعتين، التي تذوب في الدهن والتي تذوب في الماء، و جدول 1.5 يبين العناصر المهمة لهاتين المجموعتين.

جدول 1.5 الفيتامينات الهامة في تغذية الحيوان

الفيتامين	الاسم الكيميائي
فيتامينات تذوب في الدهن	***Fat –soluble vitamins***
A	**Retinol** ريتينول
$\mathbf{D_2}$	**Ergocalciferol** إرغوكالسيفيرول
$\mathbf{D_3}$	**Cholecalciferol** كوليكالسيفيرول
E	**Tocopherol** [a]توكوفيرول
K	**Phylloquinone** [b]فايللوكوينون
فيتامينات تذوب في الماء	***Water-soluble vitamins***
$\mathbf{B_1}$	**thiamin** ثايامين
$\mathbf{B_2}$	**Riboflavin** رايبوفلافين
	Nicotinamide نيكوتينأمايد
$\mathbf{B_6}$	**Pyridoxine** بايرى دوكسين
	pantothenic acid حمض بانتوثين
	Biotin بايوتين
	Folic acid حمض فوليك
	Choline كولين
	Cyanocbalamin سايانوكوبال أمين
ج **c**	**Ascorbic acid** حمض اسكوربيك

a : **عدد من التوكوفيرولات لها نشاط فيتامين E.**

b : **مشتقات عديدة من نافثاكوينون تمتلك نشاط فيتامين k تمت معرفتها.**

فيتامين (أ) Vitamin A

فيتامين (أ) ($C_{20} H_{2}g\ OH$)، معروف كيميائياً بالريتينول وهو كحول أحادي الماء وغير مشبع وله الصيغة البنائية التالية:

Vitamin A (all-*trans* form)

الفيتامين عبارة عن بللورات صلبة، لونها أصفر شاحب غير قابل للذوبان في الماء ولكن يذوب في الدهن ومذيبات الدهن المختلفة و بتعرضه للحرارة أو الضوء فإنه يتلف بسهولة عن طريق التأكسد. وقد وجدت المركبات المرتبطة بالصيغة $C_{20} H_{27} OH$ أساساً في السمك ويشار إليها dehydroretinol أو فيتامين A_2.

مصادره Sources

يتراكم فيتامين A في الكبد ولذلك فمن لمحتمل أن يكون هذا العضو مصدراً جيداً للفيتامين؛ وتختلف الكمية الموجودة تبعاً لنوع الحيوان والغذاء. ويوضح الجدول 2.5 بعض مخزونات الكبد من فيتامين A في أنواع مختلفة، وذلك برغم من أن هذه القيم تختلف كثيراً في داخل كل الأنواع.

جدول 5.2 بعض القيم النموذجية لمخزونات الكبد من فيتامين A في أنواع مختلفة[a].

(From Moore T 1969 Fat Soluble Vitamins , R. A . Morton (ed.) Oxford Pergamon Press: 233)

نوع الحيوان	فيتامين A (مايكرو جرام/جم من الكبد)	نوع الحيوان	فيتامين A (مايكرو جرام/جم من الكبد)
خنزير	**30**	حصان	**180**
بقرة	**45**	دجاج	**270**
جرذ	**75**	الحوت	**600**
إنسان	**90**	الهليوت	**3000**
أغنام	**180**	دب قطبي	**6000**
		Soup – fin shark القرش	**15000**

a : في كل نوع معين تكون الاختلافات الفردية متوقعة .

زيت الكبد في سمك معين، وخاصة الحوت والهليوت، استعمل بكثرة كمصدر غذائي مهم للفيتامين. كما يشكّل صفار البيض ودهن اللبن عادة مصادر غنية، على الرغم من أن محتوى الفيتامين فيها يعتمد وبدرجة كبيرة على غذاء الحيوانات التي أنتج منها. كما يمكن كذلك أن يحضر الفيتامين اصطناعياً ويتم الحصول عليه في صورة نقية.

طلائع الفيتامينات Provitamins

لا يتواجد فيتامين A في حد ذاته في النباتات، ولكنه يوجد كطلائع للفيتامين في صوره كاروتينويدات يمكنها التحول إلى الفيتامين والمعروف منها على الأقل 600 من الكاروتينويدات المتواجدة طبيعياً ولكن القليل فقط منها تكون طلائع للفيتامين.

وللكاروينويدات ألوان صفراء، برتقالية أو حمراء وهي مسئولة عن العديد من الألوان الطبيعيةوالمتباينة التي توجد في القشريات، الحشرات، الطيور والأسماك. كما توجد كذلك في صفار البيض، زبد اللبن ودهن الجسم في كل من الأبقار والخيول، ولكن ليس في الأغنام أو الخنازير. وتوجد كذلك في النباتات، ولكن ألوانها كثيراً ما تحجب باللون الأخضر للكلوروفيل.قد تقسَّم الكاروتينويدات إلى فئتين رئيسيتين: كاروتينات وزانثوفيلات " Carotenes and Xanthophylls" ويشمل النوع الأخير مدى واسعاً من المركبات ومثال ذلك الليوتين " Lutein " الكريبتوزانثين " Cryptoxanthin " والزيازانثين " Zeaxanthin "، ولا يتحول معظم هذا إلى فيتامين A، ويعتبر بيتا–كاروتين أكثر العناصر أهمية ويشكل المصدر الرئيسي لفيتامين A في أغذية حيوانات المزرعة، وتركيبه موضح فيما يلي :

β-carotene

إن حلقات الهايدروكربون الطويلة وغير المشبعة جزئياً (وفيتامين A) تتأكسد بسهولة إلى نواتج ثانوية ليس لها فعالية الفيتامين. ويزداد التأكسد بواسطة الحرارة، الضوء، الرطوبة ووجود المعادن الثقيلة، وبناءاً على ذلك فإن الأطعمة المعرضة للهواء وضوء الشمس

تفقد فعالية فيتامين A بها بسرعة ولهذا يمكن حدوث فقد كثير خلال التجفيف الشمسي للمحاصيل.

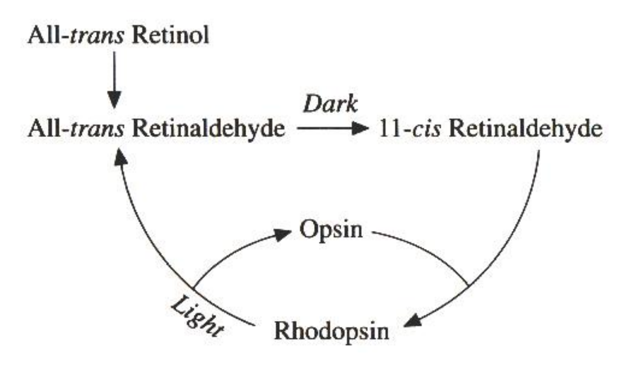
قد يحدث تحول للكاروتين إلى فيتامين A في الكبد ولكنه غالبا يحدث في الغشاء المخاطي المعوي، ومن الناحية النظرية فإنه بتحلل جزيء واحد من مركب بيتا-كاروتين (C_{40}) ينتج جزئيين من مركب الريتينول (C_{20})، وعلى الرغم من أن انشقاقاً مركزياً من هذا النوع يتوقع حدوثه فقد يكون الأرجح أن الكاروتين ينحل من إحدى نهايات السلسلة عن طريق التأكسد التدريجي حتى يتبقى مركب ريتينول من C_{20}. على الرغم أن أقصى تحويل تم قياسه في الجرذ هو 2 ملجم بيتا- كاروتين إلى 1 ملجم ريتينول، غير أن كفاءة التحويل في حيوانات أخرى تتراوح ما بين 3 : 1 إلى 12 :1.

تحول المجترات حوالي 6 ملجم من بيتا- كاروتين إلى 1 ملجم ريتينول retinol أن كفاءة التحويل المناظرة لذلك في الخنازير والدواجن تقدر عادة بحوالي 11 : 1 و 1:3 على التوالي. كثيراً ما تحدد قيم فيتامين A في الأغذية بالوحدات العالمية (I.U International Unit، وتعرّف الوحدة الواحدة من فيتامين A كنشاط 30. مايكرو جرام من بللورات الريتينول.

الأيض Metabolism

يبدو أن فيتامين A يلعب دورين مختلفين في الجسم بحسب ما إذا كان مؤثراً في العين أو في النظام العام. ففي خلايا شبكية العين يتأكسد فيتامين A (all – trans - retinol) إلى ألدهيد (all – trans - retinaldehyde) والذي يتحول إلى 11 cis – isomer – ثم يتحد الأخير مع بروتين (opsin) ليشكل (Rhodopsin) أو

الأرجوان الضوئي " Visual purple " وهو مستقبل ضوئي للرؤية عندما تكون كثافة الضوء منخفضة. وعند سقوط الضوء على الشبكية يتحول جزيء Cis -retinaldehyde مرة أخرى إلى شكل all – trans ويتحرر من opsin هذا التحول يسبب انتقال النبضات إلى العصب البصري. ويتشكل all – trans – retinaldehyde في الظلام إلى 11– Cis - retinaldehyde و يرتبط هذا الأخير ثانية مع opsin لإعادة تكوين rhodopsin وبذلك يجدد حساسية الشبكية للضوء (شكل 1.5)



شكل1.5 : دور فيتامين A (ريتينول) في الدورة البصرية

يتدخل فيتامين A في وظيفته الثانوية في تكوين وحماية الأنسجة الطلائية والأغشية المخاطية.

أعراض النقص Deficiency symptoms

تعتمد القدرة على النظر في الضوء المعتم على معدّل إعادة تكوين الرودوبسين Rhodopsin، وعندما يكون فيتامين A ناقصاً فإن تكوّن Rhpdopsin يتضرر. ولعلّ أحد الأعراض المبكرة لنقص فيتامين A في كل الحيوانات هو تناقص القدرة على الرؤية في الضوء المعتم وهو معروف عامة بالعشى الليلي. لقد اتضح ولفترة طويلة بأن فيتامين A يلعب دوراً مهماً في مقاومة العدوى وأطلق عليه (الفيتامين المضاد للعدوى).

لقد اتضح في أجناس عديدة بأن نقص فيتامين A كان مصحوباً بمستويات منخفضة للجلوبيولينات المناعية " Immunoglobulins " على الرغم أن الوظيفة المحددة للفيتامين في تكوين هذه البروتينات المهمة غير معروفة. و يصاحب النقص المعتدل لفيتامين A في الأبقار الناضجة شعر متخشن وجلد حرشفي. وقد تتأثر العيون لو امتد ذلك مؤدياً إلى كثرة الماء، تليَّن و تغيم القرنية وتطور جفاف العين " Xerophthalmia " وهي تتميز بجفاف الملتحمة (الغشاء المخاطي لباطن الجفن) conjunctiva. إن انقباض قناة العصب البصري قد تسبب العمى في العجول، أما في حيوانات التربية فإن النقص قد يؤدي إلى تدني الخصوبة وفي الأبقار الحوامل يؤدي إلى الإجهاض أو ولادة عجول ميتة أو ضعيفة أو عمياء. و قد ينتج عن حالات النقص غير الشديدة ولادة عجول بمخزون منخفض من الفيتامين و يدل هذا على أن السرسوب (اللباء) الذي هو غني بفيتامين A و بالأجسام المضادة يجب أن يقدم للعجول عند الولادة، و إلا فإن تلك الحيوانات تكون قابلة للعدوى و سوف تؤدي إلى الإسهال وإذا لم يعالج فإنها ستموت من تكرار الالتهاب الرئوي. من ناحية عملية فإن

حدوث أعراض النقص الحاد في الحيوانات الناضجة بعيدة الاحتمال باستثناء حالات عدم الحصول على الفيتامين لمدة طويلة. وبصفة عامة فإن حيوانات الرعي تتحصل على كميات أكثر مما يكفيها من طليع الفيتامين (provitamin) من عشب المرعى وتزيد مخزون الكبد للفيتامين، و يستبعد حدوث النقص لدى الأبقار التي تعلف على السيلاج أو دريس جيد الحفظ أثناء شهور الشتاء، و سجلت حالات نقص فيتامين A بين أبقار غذّيت داخل الحظائر (Indoors) أو على علائق عالية في الحبوب الغلال، ولهذا ينصح بإضافات عالية من الفيتامين تحت مثل هذه الظروف.

بالإضافة إلى العشى الليلي (سوء البصر في الليل)، فإن حالات النقص الحاد في النعاج قد ينتج عنها ولادة حملان ضعيفة أو نافقة، ومع ذلك فإن النقص غير شائع في الضأن و ذلك بسبب كفاية الغذاء المأكول في المرعى. وقد تحدث اعتلالات في العين مثل Xerophthalmia و العشى الليلي في الخنازير وقد يؤدي النقص في الحيوانات الحوامل إلى إنتاج مواليد مشوهة عمياء. ضعف الشهية وإعاقة النمو تظهر في حالات النقص غير الحادة. وعندما تربى الخنازير خارج الحظائر ولها حرية الوصول إلى الأغذية الخضراء فإن تقص الفيتامين بها غير وارد باستثناء فترة الشتاء.

الخنازير الموجودة داخل الحظائر وتعطي مركزات قد لا تحصل على كميات كافية من الفيتامين في الغذاء وربما تحتاج إلى إضافات لفيتامين A " supplements ". الطيور الداجنة التي تعطي أغذية بها نقص في فيتامين A، عادة يكون معدّل النفوق بها مرتفعاً، حيث تشتمل الأغراض المبكرة إعاقة النمو، الضعف، تموّج الريش، ترنح في المشي كما ينخفض

إنتاج البيض ونسبة الفقس في الطيور البالغة. حيث ينقص فيتامين A أو طلائعه في معظم المركزات الموجودة في أغذية الدواجن أو ينعدم فيها، وقد قد يصبح نقصه مشكلة ما لم تؤخذ الاحتياطات اللازمة. و يمكن إضافة الذرة الصفراء ، العشب المجفف أو الأغذية الخضراء الأخرى إلى الغذاء أو بدل ذلك تضاف زيوت كبد الحوت أو أسماك أخرى أو مركزات فيتامين A. ومن المحتمل قد يكون لبعض الأجناس احتياج غذائي إلى بيتا كاروتين بذاته بالإضافة لفيتامين A. ويعرف أن مبايض الأجناس البقرية تحتوي تركيزات عالية من كاروتين بيتا أثناء طور ما بعد الشياع، كما أن بعض الاضطرابات المعينة في الخصوبة في أبقار اللبن مثل إعاقة التبويض والنفوق الجنيني المبكر قد تحدث بسبب نقص طليع الفيتامين في الغذاء.

فيتامين د Vitamin D

طبيعته الكيميائية Chemical Nature

هناك عدد معروف من أشكال فيتامين D. ومع أنها ليست كلها مركبات متواجدة طبيعياً، إلا أن أهم شكلين شائعين هما (Ergocalciferol ; D_2) و (Choleccalciferol ; D_3). مصطلح D_1 تم اقتراحه أساساً بواسطة الباحثين الأوائل يشير إلى ستيرول مُنشَّط وجد فيما بعد أنه يتكون في معظمه من (Ergocalciferol)، الذي تم تمييزه بـ D_2 و نتيجة لهذا الخلط فإن مصطلح فيتامين D_1 تم إلغاؤه من مجموعة فيتامينات D وفيما يلي تراكيب فيتامينات D_2 و D_3 :

Vitamin D_2 (ergocalciferol)

Vitamin D_3 (cholecalciferol)

فيتامينات D غير قابلة للذوبان في الماء ولكنها قابلة للذوبان في الدهون وفي مذيبات الدهون. مشتق الكبريت لفيتامين D الموجود في اللبن هو شكل من الفيتامين قابل للذوبان في الماء. إن فيتامين D_2 و D_3 كليهما أكثر مقاومة للتأكسد مقارنة بفيتامين A كما أن فيتامين D_3 أكثر ثباتاً من فيتامين D_2.

مصادره **Sources**

تكون فيتامينات D محدودة الانتشار، ومن النادر تواجدها في النباتات باستثناء الأعلاف الخشنة المجففة تحت الشمس والأوراق الميتة في النباتات النامية. ويوجد فيتامين D_3 بكميات صغيرة في المملكة الحيوانية ويكون بكثرة في بعض الأسماك فقط. أن زيوت كبد

سمك الهليوت وسمك القُد هي مصادر غنية بفيتامين D_3، كما أن صفار البيض مصدر جيد بينما يفتقر لبن الأبقار مصدر هذا الفيتامين، بالرغم من أن لبن الصيف يميل إلى كونه أكثر تركيزاً من لبن الشتاء في هذا الجانب. و يحتوي اللباء (السرسوب) عادة حوالي من ست إلى عشر مرات من الكمية الموجودة في اللبن العادي. إن الأمراض الواضحة من نقص فيتامين D_3 أو من نقص في فيتامينات أخري كثيراً ما يتم علاجها بواسطة حقن الحيوان بالفيتامين.

طلائع الفيتامينات Provitamins

لقد تمت الإشارة سابقا إلى اثنين من الستيرولات وهي Ergosterol و 7- dehydrocholesterol بأنها طلائع فيتامينات D_2 و D_3 على التوالي وطلائع الفيتامينات بحد ذاتها ليس لها قيمة الفيتامين ويجب تحولها إلى كالسيفيرولات " Calciferols" قبل أي استعمال من قبل الحيوان، ومن الضروري تأمين كمية محددة من الطاقة لجزيء الستيرول وذلك لغرض هذا التحول، وهذه من الممكن توفرها بواسطة الإضاءة فوق البنفسجية الموجودة في ضوء الشمس أو عن طريق طاقة إشعاعية منتجة اصطناعياً أو بأشكال معينة من المعالجة الفيزيائية. و يتم التنشيط تحت الظروف الطبيعية بواسطة إشعاع الشمس، ويحدث التنشيط بكفاءة أكثر بضوء ذو طول موجي بين

290 – 315 نانو متر (nm)، ولهذا فإن المدى القادر على تكوين الفيتامين يكون صغيراً. وتعتمد كمية الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى سطح الأرض على خط العرض (

القرب أو البعد من خط الاستواء) وعلى ظروف الغلاف الجوي مثل وجود السحب، الدخان والغبار والتي تُخفض الأشعة.

تكون الأشعة فوق البنفسجية في المناطق المدارية أكبر مما في المناطق المعتدلة، والكمية التي تبلغ مناطق نهاية الدائرة الشمالية قد تكون طفيفة في الشتاء. وبما أن الإضاءة فوق البنفسجية لا تستطيع المرور خلال الزجاج العادي للنافذة فإن الحيوانات داخل مبنى الحظيرة تتلقى القليل من الإشعاع المناسب، إن وجد، وذلك لإنتاج الفيتامين. ويتضح أن الإشعاع يكون أكثر فعالية في الحيوانات ذات البشرة الخفيفة التلون " Light Coloured Skins". إذا استمر الإشعاع لفترة طويلة، فقد يغير الفيتامين نفسه إلى مركبات قد تصبح سامة.

ويحدث التحول الكيميائي في الجلد وكذلك في إفرازاته والتي تعرف باحتوائها على طليع الفيتامين، ويتم امتصاص الفيتامين من الجلد نظراً لأن النقص أمكن علاجه بنجاح عن طريق مسح زيت كبد القُد علي الجلد. وحدة عالمية واحدة من فيتامين D عرّفت بفعالية فيتامين D الناتجة من 0.025 مايكرو جرام من فيتامين D_3 البللوري.

الأيض Metabolism

تُمتص فيتامينات D_2 و D_3 الغذائية من خلال الأمعاء الدقيقة وتنقل في الدم إلى الكبد حيث تتحول إلى hydroxycholecalciferol25 – ثم ينتقل هذا الأخير إلى الكلى حيث يتحول إلى Dihydroxycholecalciferol – 25 , 1 وهو شكل الفيتامين الأكثر

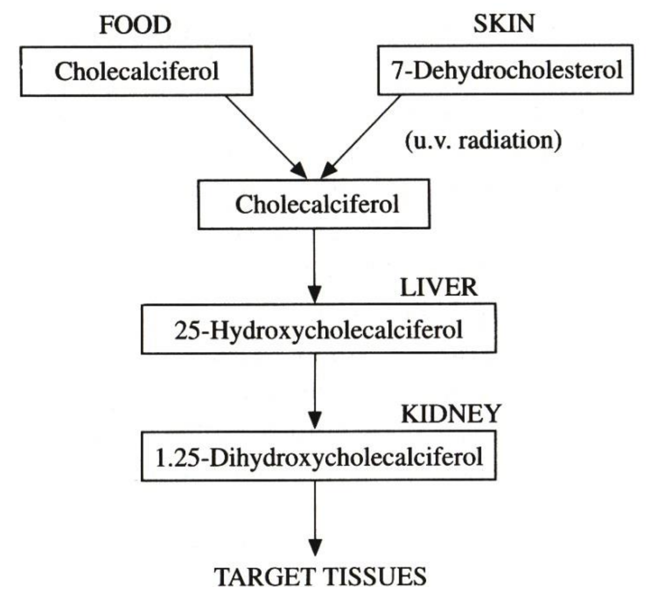
نشاطاً بيولوجيا. وينقل هذا المركب بعد ذلك في الدم إلى مختلف الأنسجة المستهدفة مثل الأمعاء والعظام والى غدة قشرة البيضة في الطيور. ويعمل مركب

1, 25 – Dihydroxycholecalciferol بطريقة مشابهة للهرمون الدهني الستيرويدي

(Steroid hormone) حيث ينظم نسخ الحمض النووي منقوص الأكسجين (DNA)

في خملات الأمعاء ويتضمن ذلك تصنيع نوع معين من الحمض النووي الريبوزي

(m RNA) والذي يكون مسئولا عن إنتاج البروتين المرتبط بالكالسيوم حيث يستخدم هذا البروتين في امتصاص الكالسيوم من التجويف المعوي. ويلخص الشكل 2.5 المسارات المختلفة المتضمنة في هذه التحويلات:



شكل 2.5 المسار الأيضي موضحاً تكوين الشكل الهرموني من فيتامين D.

تُنَظَّم 1, 25 – Dihydroxycholecalciferol المنتجة بواسطة الكلى عن طريق هرمون الغدة المجاورة للدرقية. وعندما يكون مستوى الكالسيوم في الدم منخفضاً (hypocalcaemia) تحفز الغدة المجاورة للدرقية لإفراز كمية أكثر من هرمونها (Parathyroid Hormone) وهذا يحث الكلى لإنتاج كمية أكثر من (1,25 DHCC) والذي بدوره يعزز امتصاص الكالسيوم عبر الأمعاء. بالإضافة إلى زيادة امتصاص الكالسيوم من الأمعاء فإن (1 , 25 DCC) يعمل على زيادة امتصاص الفوسفور من الأمعاء كذلك يحفز إعادة امتصاص الكالسيوم والفوسفور من الكلى ومن العظم.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

ينتج عن نقص فيتامين D في الحيوان الصغير الكساح وهو مرض في العظام النامية حيث يحدث اضطراب في ترسب الكالسيوم والفوسفور: ونتيجة لذلك تكون العظام ضعيفة وسهلة الكسر وقد تنحني الأرجل. وتشمل الأعراض في الأبقار الصغيرة انتفاخ الركبتين والعرقوب (Hocks) وتقوس في الظهر، أما في الخنازير فإن الأعراض تكون غالباً تضخم المفاصل، عظام مكسورة وفي بعض الأحيان تيبس المفاصل والشلل، و غالباً ما يتأثر معدّل النمو بشدة. ويكون مصطلح الكساح (rickets) مقتصراً على الحيوانات النامية أما في الحيوانات المتقدمة في السن فإن نقص فيتامين D يسبب هشاشة العظام Osteomalacia، حيث إعادة الامتصاص تحدث من العظام المبنية سابقاً. إن هشاشة العظام بسبب نقص فيتامين D غير شائع في حيوانات المزرعة، بالرغم من أنه وتحت نفس الظروف قد تحدث في الحيوانات الحوامل وفي الحيوانات المدرّة للّبن، والتي تحتاج إلى كميات زائدة من الكالسيوم والفوسفور. وليس الكساح وهشاشة العظام أمراضاً مخصصة تحدث بالضرورة بسبب نقص فيتامين D، ولكنها قد تكون بسبب نقص في الكالسيوم أو الفوسفور أو عدم التوازن بين هذين العنصرين.

يؤثر نقص فيتامين D في الطيور الداجنة في العظام والمنقار حيث تكون لينة ومطاطية؛ وغالباً يتأخر النمو وتصبح الأرجل ضعيفة، كذلك ينخفض إنتاج البيض وتنخفض جودة القشرة. وتحتوي معظم أغذية الخنازير والطيور الداجنة، باستثناء مسحوق

السمك، قليلاً من الفيتامين أو لا يوجد بالمرة، وغالباً تُزود هذه الحيوانات بالفيتامين في شكل زيوت كبد السمك أو مستحضرات مصنعة وذلك عندما تربى داخل الحظائر.

إن الحاجة إلى إضافة فيتامين D إلى أغذية الأبقار والأغنام ليست من الأمور الكبيرة كما في حالة الخنازير والطيور الداجنة. و قد تتحصل المجترات الناضجة على كميات كافية من الفيتامين وذلك من الدريس في الشتاء، ومن الإشعاع عند الرعي. علي الرغم من أن محتوى الدريس من الفيتامين متباين إلى حد بعيد، فقد يكون من المحتمل أن إضافته قد تكون مرغوبة خاصة مع الحيوانات الصغيرة النامية أو الحيوانات الحوامل في التغذية أثناء الشتاء، غير أن هناك نقصاً كبيراً في المعلومات حول احتياجات حيوانات المزرعة إلى الفيتامين تحت الظروف العملية. وتكون فعالية فيتامين D_2 و D_3 متساوية في حالة الأبقار، الأغنام والخنازير، ولكن في حالة الطيور الداجنة، فإن فيتامين D_2 يساوي حوالي 10 % فقط من فعالية فيتامين D_3. كما أتضح لأغذية معينة مثل الحبوب الخضراء الطازجة والخميرة خصائص مسببة للكساح (Rachitogenic) في الثدييات وان الكبد الطازج والبروتين المعزول من فول الصويا لهما نفس التأثير على الطيور الداجنة. واتضح كذلك وفي إحدى الدراسات أنه لأجل التغلب على الفعالية المسببة للكساح الناتج من كسب فول الصويا الطازج، فإن ذلك يستدعى إضافة عشرة أضعاف من مكمل فيتامين D. كما أن الحرارة تخفض من نشاط مرض الكساح.

فيتامين E — Vitamin E

الطبيعة الكيميائية — Chemical Nature

فيتامين E اسم لمجموعة تشمل عدداً من المركبات النشطة ذات العلاقة الشديدة فيما بينها. وهناك ثمان صور من الفيتامين موجودة طبيعياً ومعروفة و قد تقسم هذه إلى

مجموعتين بحسب ما إذا كانت السلسلة الجانبية في الجزيء مشبعة أو غير مشبعة كما هو موضح أدناه. ويرمز إلى الفيتامينات الأربع المشبعة α ، β وγ – توكوفيرول وصورة α هو الأكثر نشاطا بيولوجيا في هذه المجموعات وكذلك أكثر انتشاراً.

α-Tocopherol

الصور β ، γ ، δ لها حوالي 45 %، 13 % و 40 % على التوالي من نشاط الصور α. الصور غير المشبعة للفيتامين أشير لها رُمز لها α ، β، γ و δ – tocotrienols ولهذه الصورة α فقط نشاط معنوي من فيتامين E، كما أنها تعادل حوالي 13 % من نظائرها المشبعة.

مصادره **Source**

فيتامين E لا يخزن بكميات كبيرة في جسم الحيوان لوقت طويل كما هو الحال مع فيتامين A، وبناءاً على ذلك فيعتبر وجود مصدر غذائي منتظم مهماً، ولحسن الحظ فهو واسع الانتشار في الأغذية، و تعتبر الأعلاف الخضراء مصدراً جيداً من
tocopherol - α كما أن العشب النامي هو أفضل مصدر عن العشب الناضج. وتحتوي الأوراق 20 – 30 مرة مما تحتويه السوق. و قد يكون الفقد أثناء عمل الدريس (

الخرطان) مرتفعا ليصل إلى 90 %، غير أن الفقد أثناء عمل السيلاج أو أثناء التجفيف الاصطناعي يكون منخفضا. وتعتبر حبوب الغلال مصدراً جيداً أيضا للفيتامين ولكن تتباين محتوياتها من التوكوفيرول بحسب النوع. وتشابه حبوب القمح والشعير العشب في احتوائها على α - tocopherol بدرجة رئيسية، ولكن الذرة الشامية الصفراء تحتوي على كميات معقولة من γ - tocopherol

بالإضافة إلى α - tocopherol. يمكن أن ينخفض نشاط فيتامين E انخفاضاً واضحاً أثناء تخزين الحبوب الرطبة في الصوامع، و لقد سجل انخفاض في تركيز الفيتامين من 9 ملجم/كجم مادة جافة إلى 1 ملجم / كجم مادة جافة في الشعير الرطب الذي ثم تخزينه لمدة 12 أسبوعاً.

تعتبر المنتجات الحيوانية مصادر فقيرة نسبياً للفيتامين، بالرغم من أن الكمية الموجودة مرتبطة بمستوى الفيتامين في الغذاء. وتتوفر أنواع مصنعة من α - tocopherol والخلات كمستحضرات تجارية. و تصاغ عادة قيم الفيتامين في الأغذية كنشاط محدد من 1 ملجم من racemic α - tocopherol acetate المصنّع.

الأيض Metabolism

يعمل فيتامين E في الحيوان وبشكل رئيسي كمضاد بيولوجي للتأكسد؛ وفي ترابطه بإنزيم glutathione peroxides والذي يحتوي عنصر السيلينيوم فهو يقوم بحماية الخلايا من تلف الأكسدة بسبب الشقوق الحرة Free radicals.

تتكون الشقوق الحرة أثناء الأيض الخلوي ولكونها قادرة على هدم أغشية الخلية و الإنزيمات والمادة النووية للخلية، وعليه يجب أن تتحول إلى مواد أقل فاعلية ليبقى الحيوان على قيد الحياة، و تكون هذه الحماية مهمة بدرجة خاصة في الحد من أكسدة الأحماض الدهنية ذوات الروابط الزوجية المتعددة والتي تعمل كمكونات أساسية للأغشية تحت الخلوية وكطلائع للبروستاجلاندينات prostaglandins. وينتج عن أكسدة الأحماض الدهنية غير المشبعة هايدوبيروكسيدات Hydro peroxides وهي تؤدي أيضاً إلى تلف خلايا الأنسجة، والكثير من الشقوق الحرة الدهنية وعليه فإن للحد من مثل هذا التأكسد أهمية حيوية في المحافظة على صحة الحيوان الحي.

كما أن للحيوان طريقتين رئيسيتين لحماية نفسه ضد تلف الأكسدة، أولاً، تكسح الأصول بواسطة فيتامين E كخط دفاع أول وثانياً يقوم إنزيم Glutathione peroxidase بتحطيم أي بيرو كسيدات متكونة قبل أن تتمكن من إتلاف الخلية وآليتي الدفاع وهاتان تكمل كل منهما الأخرى.

يلعب فيتامين E أيضاً دوراً مهماً في تطور ووظيفة جهاز المناعة، وقد أوضحت دراسات على عدة أنواع أن تكملة الأغذية بفيتامين E وفّرت بعض الحماية لمواجهة العدوى بسبب الكائنات الممرضة.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

من الناحية التشخيصية، فإن الأكثر تكراراً وأهمية واضحة إلى حد بعيد فيما يتعلق بنقص فيتامين E في حيوانات المزرعة هو تحلل العضلات أو اعتلالها (Myopathy)

ويعرف أيضاً هذا الاعتلال Nutritional dystrophy بسوء التغذية للعضلات Muscular dystrophy، ويتكرر حدوثه في الأبقار وخاصة العجول عندما يتم تحويلها إلى المرعى الربيعية، كما يرتبط ذلك بانخفاض تناول فيتامين E والسيلينيوم أثناء التغذية الشتوية وربما لوجود تركيز مرتفع من الأحماض الدهنية غير المشبعة متعددة الروابط الزوجية في ليبيدات العشب النامي. وتزداد الاحتياجات إلى الفيتامين بزيادة تركيز الأحماض الدهنية متعددة الروابط الزوجية في الغذاء. ويؤثر تحلل العضلات بدرجة أساسية في العضلات الهيكلية ويصبح للحيوان المصاب عضلات أرجل ضعيفة، وهي حالة تنضح في صعوبة الوقوف وارتجاف وترسخ المشي بعد الوقوف، كما تكون الحيوانات أخيراً غير قادرة على القيام وضعف عضلات الرقبة يمنعها من القدرة على رفع رؤوسها، ولعلّ الاسم الشائع لوصف هذه الحالة هو " مرض العضلة البيضاء White muscle disease " وقد تتأثر كذلك عضلة القلب وربما ينتج عنه النفوق.

يحدث تحلل العضلات Nutritional dystrophy كذلك في الحملان بأعراض تشابه تلك التي في العجول . ويشار إلى هذه الحالة أحياناً بمرض تيبس الحمل " Stiff lamb disease "، أما في الخنازير فإن أهم مرضين رئيسيين يرتبطان بنقص فيتامين E وعنصر السيلينيوم فهما مرض الاعتلال العضلي والقلبي، ويؤثر اعتلال العضلات الغذائي بصورة خاصة في الخنازير الصغيرة سريعة النمو، ولكن قد يحدث عند أي عمر. ويظهر على الخنازير ترنح أثناء السير مع عدم تناسق في المشي أو تكون غير قادرة على القيام. ويعكس الحيوانات الأخرى، فإن عضلة قلب الخنزير غالباً تكون أكثر تأثراً. ويحدث هبوط مفاجئ

للقلب وبالكشف بعد موت الحيوان فإن تقرحات العضلات القلبية تُرى على هيئة بقع شاحبة أو تعرقات بيضاء و عادة ما تعرف هذه الحالة بمرض القلب ألتوتي " Mulberry heart disease ". كما أن نقص فيتامين E في الكتاكيت قد يؤدي إلى عدد من الأمراض المميزة من اعتلال العضلات myopathy " تلين الدماغ "أو جنون الكتاكيت encephalomalacia " و مرض الاستسقاء Exudative diathesis . العضلات الرئيسية المتأثرة باعتلال العضلات الغذائي هي الصدرية بالرغم من أن ذلك قد يشمل أيضاً عضلات الأرجل.

تلين الدماغ الغذائي أو مرض جنون الكتاكيت " crazy chick disease " وهي حالة يكون فيها الكتكوت غير قادر على المشي أو الوقوف ويكون ذلك مصحوباً بنزيف وتنكرس necrosis، وهو عبارة عن موت في خلايا الدماغ. مرض الاستسقاء Exudative diathesis " وهو مرض وعائي في الكتاكيت ويتصف باستسقاء oedema تعم الأنسجة الدهنية تحت الجلد مع نفاذية غير طبيعية في جدار الشعيرات الدموية. يظهر أن كلاً من عنصر السيلينيوم وفيتامين E يرتبط بالاعتلال العضلي الغذائي ومرض الاستسقاء ولكن العنصر لا يبدو أنه مهم في مرض جنون الكتاكيت. يجب التأكيد على أن السيلينيوم بذاته هو عنصر سام جداً ويتوجب أخذ الحيطة عند استخدامه كإضافة للغذاء، وستناقش الطبيعة السامة للسيلينيوم في الفصل القادم.

فيتامين K　　Vitamin K

كان اكتشاف فيتامين K في عام 1935 علي أنه عامل ضروري في الحد من أعراض النزف في الكتاكيت، وقد تم الاكتشاف عن طريق مجموعة من علماء الدانمارك والذين أعطوا اسم عامل التخثر Koagulation Factor للفيتامين، وقد تم اختصار هذا إلى عامل K وأخيراً إلى فيتامين K.

طبيعته الكيميائية　　Chemical nature

من المعروف أن فيتامين K يتواجد في عدد من الصور، وكل المركبات التي تبين نشاط فيتامين K تمتلك حلقة ميناديون (Menadione) أي 2 – 4 , 1 – methy l – naphthoquinone والتي لا تستطيع الحيوانات تخليقها ولكن ذلك ممكن للنباتات والبكتريا.

Menadione (2-methyl-1,4-naphthoquinone)

صورة الفيتامين الموجودة في النباتات هي 2 – methyl–3 phytyl – 1,4- naphtoquinone

ويرمز لها عامةً بفيتامين K_1 أو phylloquinone. المركب المعزول أساساً من مسحوق السمك المتعفن ويرمز له بفيتامين K_2 وهو معروف حاليا بأنه الوحيد في سلسلة فيتامين K الذي به سلاسل جانبية غير مشبعة تم تخليقها بواسطة البكتيريا ويشار له بالميناكوينون Menaquinones. و تحتوي الفيتامينات السائدة من سلسلة الميناكوينون من 6 إلى 10 وحدات من سلسلة الايزويرين الجانبية. ($CH_2:CCH_3:CH:CH_2$). ويكون فيتامين K ثابتاً نسبياً في درجة حرارة الغرفة ولكنه يتكسر بسرعة عند تعرضه لضوء الشمس.

مصادره Sources

يكون phylloquinone متواجداً في معظم الأوراق الخضراء، الصفصفة، الكرنب واللفت والذي يعتبر من المصادر الجيدة، أما الكميات الموجودة في الأغذية ذات المنشأ الحيواني فعادةً ما ترتبط بالغذاء، ولكن صفار البيض و الكبد ومسحوق السمك فتعتبر مصادر جيدة بصفة عامة و يخلّق الميناكوينون Menaquinone بواسطة البكتريا في القناة الهضمية للحيوان.

الأيض Metabolism

تعتبر فيتامين K ضرورياً لتخليق البروثرومبين في الكبد. يعتبر البروثرومبين أثناء عملية تجلط الدم هو الطليع غير النشط للثرومبين وهو كإنزيم يقوم بتحويل بروتين الفيبرينوجين في بلازما الدم إلى فيبرين وهو البروتين الليفي غير الذائب والذي يعمل على ربط خثرات الدم ببعضها. ويجب أن يرتبط البروثرومبين طبيعياً بأيونات الكالسيوم قبل تنشيطه، وعندما يكون التزود بفيتامين K غير كافٍ، فإن جزيء البروثرومبين ينقصه حمض - γ

carboxy glutamic acid وهو حمض أميني معين ومسئول عن ربط الكالسيوم. وتكون البروتينات المحتوية على

Y - carboxy glutamic acid معتمدة في تكوينها على فيتامين K وهي موجودة في العظم والكلي وأنسجة أخرى.

أعراض النقص **Deficiency symptoms**

لم تسجل أعراض لنقص فيتامين K في المجترات أو الخنازير تحت الظروف الطبيعية، ولعلّ الاعتقاد العام أن التصنيع البكتيري في القناة الهضمية يوفر فيتاميناً كافياً لحاجات الحيوان. وهناك عدد من الكائنات الدقيقة معروفة بتخليق فيتامين K وتشمل *Esherichia coli*. إن مرضاً في الأبقار يدعى مرض البرسيم الحلو " Sweet Clover disease " يكون ذو علاقة مع فيتامين K حيث أن البرسيم الحلو المتعفن (*Melilotus albus*) يحتوي على مركب داي كومارول " Dicoumarol " الذي يعمل على خفض محتوى البروثرومبين في الدم، و يمكن التغلب على المرض بواسطة تزويد الفيتامين للحيوان، ولهذا السبب يشار إلى الداي كومارول أحياناً بأنه مضاد للفيتامين. ولعلّ الأنيميا وتأخر وقت تجلط الدم هي أعراض نقص فيتامين K في الكتاكيت: تجرح الطيور بسهولة وربما تدمي حتى الموت.

إنه من غير المؤكد إذا ما كان فيتامين K المصنّع ميكروبياً في الطيور يكون متاح امتصاصه مباشرة في القناة الهضمية لأن مكان تكونه بعيد جداً لإمكانية امتصاص كميات كافية إذا ما استثنينا تناول المادة المخرجة في الروث (coprophagy) أو الاغتذاء بالروث.

إن للفيتامينات المضمنة تحت هذا العنوان خاصية الذوبان في الماء، ومعظمها مكونات لقرائن أنزيمات مرافقات أنزيمات Coenzymes (انظر الجدول 3.5).

ولا تشبه عناصر فيتامين B المركب لا تشبه الفيتامينات الذائبة في الدهن، فهي لا تخزن في الأنسجة بكميات كبيرة ويستثنى من ذلك السيانوكوبال أمين Cyanocobalamine ولهذا فإن التزود بمصدر خارجي يكون ضرورياً.

جدول 3.5 بعض قرائن الإنزيمات والمجاميع الإضافية المضمنة بفيتامينات B

إنزيم أو وظيفة أخرى	قرين الإنزيم أو مجموعة إضافية	الفيتامين
Oxidative decarboxy-lation	**Thiamin pyrophosphate (TPP)**	ثيامين
Hydrogen carrier	**Flavin mononucleotide (FMN)**	رايبوفلافين
Hydrogen carrier	**Flavin adenine dinucleotide (FAD)**	رايبوفلافين
Hydrogen carrier	**Nicotinamide adenine dinucleotide (NAD)**	نيكوتين أمايد
Hydrogen carrier	**Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate**	نيكوتين أمايد
Transaminases decarboxylase	**Pyridoxal phophate**	بايري دوكسين
Acyl transfer	**Coenzyme A (COA)**	حمض بانتوثينك
One Carbon transfer	**Tetrahydrofolic acid**	حمض فوليك
Carbon dioxide transfer	**Biotin**	بيوتين
Isomerases , dehydrases	**Methylcobalamin**	سيانوكابال أمين

ويمكن أن يتم تصنيع جميع فيتامينات هذه المجموعة في الحيوانات المخيرة بواسطة نشاط الميكروبات في الكرش و سيوفر هذا كميات كافية للأيض الطبيعي في العائل وإفراز كميات إلى اللبن. ومن ناحية أخرى، فقد يحدث نقص في الثيامين والسيانوكوبال أمين في الحيوانات المخيرة تحت ظروف معينة.

الثيامين Thiamin

طبيعته الكيمائية Chemical nature

الثيامين (فيتامين B_1) قاعدة نيتروجينية معقدة تحتوى على حلقة بايري ميدين Pyrimidine متصلة بحلقة ثيازول " thiazole "، وبسبب وجود مجموعة هيدروكسيل في نهاية السلسلة الجانبية فإن الثيامين يمكنه أن يكوّن أسترات.

الشكل الرئيسي للثامين في أنسجة الحيوان هو إستر ثنائي الفوسفات ويعرف عادة بالثيامين بايروفوسفيت (Thiamin pyrophosphate (TPP. الفيتامين سريع الذوبان في الماء وثابت إلى حد ما في المحلول متوسط الحموضة ولكنه مهيأً للتفكك في المحاليل المتعادلة.

Thiamin chloride

مصادره Sources

ينتشر الثيامين على نطاق واسع في الأغذية، ويتركز في القشرة الخارجية للبذور وفي أجنتها، وفي الأماكن النامية من الجذور والأوراق والأفرع والبراعم الجديدة. وتعتبر منتجات التخمير مثل خميرة البيرة مصادر غنية، وتشمل المنتجات الحيوانية الغنية بالثيامين صفار البيض والكبد والكلي ولحم الخنزير. يتوفر عادة الفيتامين المصنّع ويتم تسويقه كهيدروكلوريد " Hydrochloride ".

الأيض **Metabolism**

يعمل الفيتامين كقرين الإنزيم " Thiamin Pyrophosphate " ويساعد على أكسدة وإزالة مجموعة الكربوكسيل من حمض البايروفيك ليتحول الأخير إلى استيل قرين A " Acetyl COA " وكذلك أكسدة α−Ketoglutarate إلى "Succinyl COA " وهي تفاعلات في دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل و مسار فوسفات البينتوز وتخليق حمض الفالين في البكتيريا و الخمائر والنباتات.

أعراض النقص **Deficiency Symptoms**

تشمل الأعراض المبكرة لنقص الثيامين في معظم الأنواع فقدان الشهية، الهزال، ضعفاً عضلياً وتعاظماً في اختلال وظيفة الجهاز العصبي. و تتأثر في الخنازير الشهية والنمو بشدة وربما حدوث قيء للحيوان مع مشاكل تنفسية.

و تكون الكتاكيت المرباة على أغذية ناقصة الثيامين هزيلة نتيجة نقص شهيتها. ويتطور لديها التهاب الأعصاب المتعدد " Polyneuritis " بعد حوالي 10 أيام والذي يتميز بانضمام (تراجع) الرأس، وانحلال العصب والشلل العام.

وقد تفسر كثير من حالات النقص للثامين في هذه في الحيوانات على أساس دور " TPP " في أكسدة وإزالة مجموعة الكربوكسيل من حمض البايروفيك. في الغذاء الذي ينقصه الثيامين فإن الحيوانات يتراكم لديها حمض الفصلروفيك وناتج اختزاله وهو حمض اللاكتيك في أنسجتها مما يؤدي إلى الضعف العضلي، تتوقف الخلايا العصبية وبدرجة خاصة عن تحويل الكربوهيدرات، ولهذا السبب فإن لنقص الفيتامين تأثيراً خطيراً خصوصاً على النسيج العصبي. بما أن استيتيل قرين A " Acetyl COA " مركب أيضي مهم في تصنيع الأحماض الدهنية، فإن عملية تصنيع الليبيدات تنخفض، وحيث أن الثيامين منتشر في الأغذية بشكل معتدل وخاصة أن حبوب الغلال هي مصادر غنية من الفيتامين، فان الخنازير والطيور الداجنة من المستبعد أن تعاني من نقص الثيامين عملياً.

إن التصنيع الميكروبي للفيتامين في القناة الهضمية مع ما هو موجود في الغذاء سوف يزود المتجرات بكميات كافية من الفيتامين تغطى احتياجات الحيوان. ومن ناحية أخرى، وتحت ظروف معينة فإن إنزيمات Thiaminases البكتيرية والتي قد تنتج في الكرش تعمل على هدم الفيتامين وبذلك تؤدي إلى حالة نقص معروفة بتنخر قشرة الدماغ " Cerebrocartical necrosis; CCN ". وتتميز هذه الحالة بالحركات الدائرية، دفع الرأس بقوة مطردة head pressing، العمى وارتجافات عضلية. لقد اقترح أن تحمض الدم الناتج من حمض اللاكتيك بسبب التغذية على مصادر سريعة التخمر قد يكون عاملاً هاماً في إنتاج إنزيمات " Thiaminases " و يبدو أن الحيوانات الصغيرة أكثر حساسية.

يوجد إنزيم Thiaminase في السرخس (*Pteridium equilinum*) وقد سجلت أعراض نقص الثيامين في خيول استهلكت هذه المادة، ويحتوي السمك الطازج أيضاً هذا الإنزيم والذي يكسر الثيامين في الأغذية التي تخلط مع السمك، ولكن نشاط الإنزيم Thiaminase يتكسر بواسطة الطبخ.

الرايبوفلافين Riboflavin

طبيعته الكيميائية Chemical nature

يتكون الرايبوفلافين (فيتامين B_2) من نواة Dimethyl-isoalloxazine مع ريبيتول ribitol وتركيبه موضح أدناه.

HO OH OH
CH_2—C—C—C—CH_2OH
H H H
CH_3
CH_3
N N O
NH
N
O

Riboflavin

هو مركب بلوري أصفر ويعطى لون مادة الفلوريسنت ذات اللون الأخضر المصفر وذلك في المحلول المائي. والرايبوفلافين شحيح الذوبان في الماء، وفي المحاليل الحمضية أو

المتعادلة فإنه يقاوم الحرارة ولكنه يتكسر بالقلوي وهو غير ثابت في الضوء وبصفة خاصة الأشعة فوق البنفسجية.

مصادره Sources

يوجد الرايبوفلافين في كل المواد البيولوجية، ويمكن تصنيعه بواسطة كل النباتات الخضراء، الخمائر، الفطريات ومعظم البكتيريا، بالرغم من أن بكتيريا *Lactobacilli* هي استثناء واضح وتحتاج إلى مصدر خارجي. وتعتبر الخمائر، الكبد، اللبن (خاصة شرش اللبن) والمحاصيل الورقية الخضراء جميعها غنية بهذا الفيتامين، بينما تكون حبوب الغلال مصادر فقيرة.

الأيض Metabolism

الرايبوفلافين عنصر مهم في الفلافوبروتينات. وتحتوي المجموعة الإضافية لهذا البروتينات المركبة تحتوي رايبوفلافين في صورة فوسفات (Flavin Mononucleotide or FMN) أو في صورة أكثر تعقيداً وهي (Flavinadenine dinucleotide (FAD. وتوجد عدة فلافوبروتينات تعمل في جسم الحيوان جميعها تتعلق بتفاعلات كيميائية تتضمن نقل الهيدروجين. وقد تم مناقشة أهمية الفيتامين في أيض الكربوهيدرات والأحماض الأمينية في الفصل 9.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

تشمل أعراض النقص في الخنازير انخفاض الشهية ويترتب عن ذلك تأخر في النمو، القيء، طفح جلدي وشذوذ في العين. الرايبوفلافين ضروري في غذاء إناث الخنازير

للمحافظة على نشاط الشبق والحد من الولادة المبكرة Prematur . و تنمو الكتاكيت المرباة على غذاء ينقصه الرايبوفلافين ببطء ويتطور لديها مرض شلل المخلب المقوس " Curled toe Paralysis" وهو عرض معين يتسبب عن تحلل العصب المحيطي والذي يجعل الكتاكيت تسير على عراقيبها hocks ومخالبها مقوسة إلى الأمام. في دجاج التربية ويؤدي النقص إلى انخفاض نسبة الفقس، ويحدث تشوه جنيني مثل الحالة المميزة " Clubbed down " حيث يستمر ريش الزغب في النمو داخل الحوصلة مسبباً ريشاً مطوياً (ملولباً). يصنع الفيتامين في الكرش ويكون النقص في الحيوانات ذوات الكرش الوظيفية بعيد الاحتمال، ومن ناحية أخرى فقد وصفت حالات نقص الرايبوفلافين في العجول الصغيرة والحملان. وتشمل الأعراض فقد الشهية الإسهال وتقرحات على حواف الفم.

نيكوتين أميد Nicotinamide

وهو عنصر أخر من فيتامين B المركب، وهو مشتق من حمض النيكوتين (Pyridine 3 – Caroxylic acid) وهي الصورة الفعالة في الجسم. العلاقة بين حمض النيكوتين، النيكوتين أميد والحمض الأميني تريبتوفان والذي يعمل كطليع موضحة أدناه:

COOH — CONH$_2$ — CH$_2$—CH—COOH, NH$_2$, N, N, N H

Nicotinic acid   Nicotinamide   Tryptophan

نيكوتين أميد فيتامين ثابت ولا يتكسر بسهولة بتأثير الحرارة، الأحماض، القلويات أو الأكسدة.

مصادره **Sources**

يمكن أن يصنّع حمض النيكوتين من التريبتوفان وذلك في أنسجة الجسم ولهذا يمكن للحيوانات أن تحوّل الحمض إلى مرافق أنزيم محتوياً الأميد (انظر أسفل)، ويمكن القول بأنه عندما يزوّد الغذاء بكميات كافية من البروتينات الغنية بالتريبتوفان، لذلك فإن الاحتياج للفيتامين الغذائي ذاته يجب أن يكون منخفضاً. ومن ناحية ثانية فإن كفاءة تحويل التريبتوفان إلى نيكوتين أميد تكون ضئيلة، وقد بينت دراسات على الكتاكيت أن تحويل الحمض الأميني إلى الفيتامين كان بنسبة 45 إلى 1 على أساس الوزن، وفي بعض الأغذية مثل كسب فول الصويا قد تكون نسبة التحويل أكثر من ذلك. ولهذا السبب فإنه بشكل عام توفر مصدراً خارجياً من الفيتامين يكون أيضاً ضرورياً. وتعتبر الكبد، كسب الفول السوداني وكسب عباد الشمس والخمائر مصادر غنية بالفيتامين. بالرغم من أن حبوب الغلال تحتوي على الفيتامين، فإن معظمة يوجد في صورة مرتبطة وهي غير متيسرة بسهولة للخنازير والدواجن. ويكون اللبن والبيض غالباً خالية من الفيتامين بالرغم من أنها تحتوي طليع الفيتامين وهو التريبتوفان.

الأيض **Metabolism**

يعمل نيكوتين أميد في جسم الحيوان كمجوعة نشطة لأثنين من قرائن الأنزيمات المهمة وهما (Nicotinamide adenine dinucleotide (NAD و

تعمل قرائن الأنزيمات .Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADP) هذه في آلية نقل الهيدروجين في الخلايا الحية (انظر الفصل 9)

أعراض النقص **Deficiency Symptoms**

تشمل أعراض النقص في الخنازير ضعف النمو، فقدان الشهية (anorexia) التهاب الأمعاء (enteritis)، التقيؤ والتهاب الجلد dermatitis. ويؤدي نقص الفيتامين في الدجاج إلى اعتلال في العظم وتشوهات في تكوين الريش والتهابات في الفم والجزء العلوي للمريء. وتحدث أعراض النقص بصفة خاصة في الخنازير والدواجن عند استعمال أغذية ذات محتوى عالٍ من الذرة نظراً لأن الذرة تحتوي على مقدار ضئيل جداً من الفيتامين أو التريبتوفان.

فيتامين B_6 **Vitamin B_6**

طبيعته الكيميائية **Chemical nature**

يتواجد الفيتامين في ثلاث صور يمكن لأي منها أن يتحول إلى الأخرى داخل أنسجة الجسم. وتعرف المادة الأصل بالبايري دوكسين pyridoxine ونظير مشتق الالدهيد بايري دوكسال pyridoxal والأمين هو بايري دوكسا أمين pyridoxamine. ويستخدم مصطلح فيتامين B_6 كوصف عام لكل الصور الثلاث.+

Pyridoxine Pyridoxal Pyridoxamine

تعتبر مشتقات الأمين والالدهيد أقل ثباتاً من البايردوكسين وهي تتكسربالحرارة.

مصادره Sources

يوجد الفيتامين في النباتات على هيئة بايري دوكسين، بينما تحتوي المنتجات الحيوانية أيضاً على بايري دوكسال وبايري دوكسا أمين. الفصلري دوكسين ومشتقاته واسعة الانتشار: الخمائر القطاني، حبوب الغلال، الكبد واللبن جميعها مصادر غنية.

الأيض Metabolism

إن أكثر المركبات الثلاثة المرتبطة نشاطاً وفعالية هو البايري دوكسال في صور الفوسفات. ويلعب فوسفات البايري دوكسال دوراً رئيسياً كقرين أنزيم في التفاعلات التي تعمل من خلالها الخلية على نقل الأحماض الأمينية في العناصر الغذائية إلى مزيج من الأحماض الأمينية والمركبات النيتروجينية الأخرى المطلوبة لأيضها. وتتضمن هذه التفاعلات نشاطات الأنزيمات الناقلة لمجموعة الأمين transaminases والناقلة لمجموعة الكربوكسيل " decarboxylases "، وقد تم التعرف على أكثر من 50 أنزيم جميعها معتمدة على فوسفات

البايري دوكسال، ويعتقد بأن الفيتامين يلعب دورا في امتصاص الأحماض الأمينية من الأمعاء.

أعراض النقص **Deficiency Symptoms**

بسبب تعدد الأنزيمات التي تحتاج إلى فوسفات البايري دوكسال، فإن أضرار بيوكيميائية كثيرة الاختلاف تكون مرتبطة بنقص فيتامين B_6. وتكون هذه الأضرار متعلقة أساساً بأيض الحمض الأميني ويؤثر النقص علي معدل نمو الحيوان. كذلك قد تحدث تشنجات وربما تكون بسبب انخفاضاً Glutamic acid decaroxylase وينتج عنه تراكم حمض الجلوتاميك، بالإضافة إلى ذلك تُظهر الخنازير انخفاض في الشهية وقد تتطور إلى أنيميا. تُبدي الكتاكيت على الأغذية الناقصة حركات متشنجة بينما يكون التأثير في الطيور الناضجة شديداً على كل من نسبة الفقس وإنتاج البيض. ويكون نقص فيتامين B_6 عملياً غير وارد في حيوانات المزرعة بسبب التوزيع الواسع له.

حمض البانتوثينك **Pantothenic acid**

طبيعته الكيميائية **Chemical nature**

و هو عنصر آخر من فيتامين B المركب وهو أميد حمض البانتويك Pantoic acid وبيتا الأنين وله الصيغة التالية:

$$HOCH_2-C(CH_3)_2-CH(OH)-CONHCH_2CH_2COOH$$

Pantothenic acid

مصادره Sources

ينتشر الفيتامين بكثرة ولعلّ الاسم مشتق من الإغريقية " pantothen " "من في كل مكان"، للدلالة على اتساع انتشاره ووجوده. المصادر الغنية هي الكبد، صفار البيض، الفول السوداني، البازلاء، الخميرة والدبس، كما تعتبر حبوب الغلال والبطاطس كذلك مصادر جيدة لهذا الفيتامين.

يكون الحمض في صورة حرة غير ثابت ويعتبر المنتج الشائع استخدامه تجارياً هو محضر بانتوثينات الكالسيوم المخلق.

الأيض Metabolism

حمض البانتوثينك وهو مكون من قرين الأنزيم A والذي يعتبر أهم قرين أنزيم لنقل الأسيل Acyl transfer كيميائياً نجد أن قرين أنزيم A عبارة عن:

– phospho – adenosine – 5 – diphospho – pantotheine3

Coenzyme A

(قرين الإنزيم A)

وسيتم شرح أهمية قرين الأنزيم هذا الأيض في الفصل 9. بالإضافة إلى أنه مكون لقرين الأنزيم A، فإن حمض البانتوثينك مكون تركيبي أيضا للبروتينات الناقلة الأسيل والتي تشترك في تخليق الأحماض الدهنية في السايتوبلازم.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

يسبب نقص حمض البانتوثينك في الخنازير انخفاض النمو، الإسهال، فقدان الشعر خشونة الجلد، مشي كخطوات الإوز " goose – stepping "؛ وفي الحالات الشديدة يصبح الحيوان غير قادر على الوقوف. يتأخر النمو في الكتاكيت ويحدث التهاب الجلد أما في الطيور الناضجة فإن نسبة الفقس تنخفض. حمض البانتوثينك مثل جميع فيتامينات B المركب، يمكن تخليقه بواسطة الكائنات الدقيقة في الكرش، بكتيريا *Esherichia coli* مثلاً، عرفت بأنها منتجة لهذا الفيتامين. ويعتبر نقص حمض البانتوثينك عملياً نادر الحدوث بسبب اتساع انتشار الفيتامين، بالرغم من أن أعراض نقص سجلت في قطعان تجارية من خنازير Landrace.

حمض الفوليك Folic acid

لقد تم اكتشاف فيتامين B المركب هذا في الثلاثينات (1930s) عندما وجد أن الإنسان يمكن أن يشفي من نوع معين من الأنيميا عن طريق علاجه بالخميرة أو مستخلصات الكبد. ولقد أتضح أن المكون النشط في المستخلصات والذي يعتبر ضرورياً

أيضاً لنمو الكتاكيت موجود بكميات كبيرة في الأوراق الخضراء وسمي حمض الفوليك (من الكلمة اللاتينية Folium والتي تعني ورقة).

الاسم الكيميائي لحمض الفوليك هو pteroylmonoglutamic acid ويتكون من ثلاثة أجزاء P – aminobenzoic acid ، Glutamic acid، Pteridine nucleus.

Pteroylmonoglutamic acid

تم التعرف على وجود مشتقات عديدة من الفيتامين، وهذه تحتوي على عدد قد يصل إلى 11 من وحدات حمض الجلوتاميك في الجزيء، والصورة التي تحتوي على جزيء جلوتاميك واحد تكون قابلة للامتصاص من القناة الهضمية، ولكن الصورة ذات الجزيئات المتعددة من الجلوتاميك يجب أن تتجزأ إلى صورة أحادية الجلوتاميك بواسطة أنزيمات وذلك قبل امتصاصها.

مصادره Sources

ينتشر حمض الفوليك بكثرة في الطبيعة؛ المواد الليفية الخضراء، الحبوب ومسحوق مستخلصات البذور الزيتية وهي جميعها مصادر جيدة من الفيتامين. ويعتبر حمض الفوليك

ثابتاً إلى حد ما وخاصة في الأغذية المخزنة تحت ظروف جافة ولكنه قابل للتلف بواسطة الرطوبة وخاصة عند ارتفاع درجات الحرارة.

الأيض Metabolism

يتحول حمض الفوليك بعد عملية الامتصاص في الخلايا إلى Tetrahydrofolic acid الذي يعمل كقرين أنزيم في تحريك وتحويل المجموعة ذات ذرة الكربون الفردية (مثل Formyl، methyl) والتي قد تضاف إلى أو تزال من وسائط الأيض مثل الهستيدين، السيرين، الجلايسين، الميثيونين، والبيورينات.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

سجلت أعراض نقص مختلفة في الكتاكيت وطيور الرومي الصغيرة، وقد اشتملت علي ضعف النمو، الأنيميا، ضعف تطور العظم وانخفاض نسبة فقس البيض و قلما تحدث أعراض نقص حمض الفوليك في الحيوانات المزرعية الأخرى وذلك بسبب تخليقه بواسطة البكتيريا المعوية.

البيوتين Biotin

طبيعته الكيميائية Chemical nature

يعتبرالبيوتين من ناحية كيميائية كجزء من فيتامين B المركب، وهو عبارة عن

– keto – 3 , 4 – imidazolido – 2 – tetrahydrthiophene – *n* – valeric acid2

وتركيبه موضح أدناه:

O
‖
C
HN NH
HC — CH
H_2C CH — $(CH_2)_4$ — COOH
S

Biotin

مصادره **Sources**

البيوتين واسع الانتشار في الأغذية؛ الكبد، اللبن، البذور الزيتية والخضروات وهي مصادر غنية. من ناحية ثانية، ففي بعض الأغذية قد لا يتحرر غالبية الفيتامين المرتبط أثناء الهضم وبذلك يكون غير متيسر. وقد بينت بعض الدراسات على الكتاكيت والخنازير أن مدى تيسر البيوتين في الشعير والقمح منخفض جداً، بينما يكون البيوتين في الذرة وبقايا بذور زيتية معينة مثل بقايا فول الصويا متيسراً بالكامل.

الأيض **Metabolism**

يعمل البيوتين كمجموعة مرافقة لأنزيمات عديدة تحفز نقل ثاني أكسيد الكربون من مادة التفاعل إلى أخرى. ويوجد في الحيوانات ثلاثة أنزيمات معتمدة على البيوتين ولها أهمية خاصة: Pyruvate carboxylase ، Acetyl CoA

Propionyl coenzyme A carboxylase ، carboxylase وسيتم مناقشة الدور الخاص لهذه الأنزيمات في الفصل 9.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

يسبب نقص البيوتين في الخنازير أضراراً في القدم وتساقط الشعر " alopecia " وجلداً ذا قشرية جافة، وفي الخنازير النامية يكون التأثير شديداً على كل من معدل النمو وتحويل الغذاء، أما في إناث خنازير التربية فإن نقص الفيتامين يؤدي إلى تأثير شديد على الأداء التناسلي.

يسبب نقص البيوتين في الدواجن انخفاض النمو، التهاب الجلد، تشوهاً في عظام الأرجل، تشقق الأقدام، ضعف تكون الريش وتدهن الكبد " Fatty Liver " وخللاً في الكلى. الحالة الأخيرة والتي تصيب الكتاكيت أساساً في عمر 2 – 5 أسبوع تتميز بحالة الكسل وكثيراً تموت الطيور في مدى ساعات قليلة. بعد تشريح الجثة، يلاحظ أن الكبد والكلى منتفخة وذات لون شاحب وتحتوي على ترسبات دهنية غير طبيعية. يمكن أن يحفّز نقص البيوتين عن طريق إعطاء الحيوانات الأفيدين " Avidin "، وهو بروتين يوجد في زلال البيض الطازج، يرتبط بالفيتامين ويمنع امتصاصه في الأمعاء. بعض أنواع البكتيريا *Streptomyces SSP.* والتي توجد في التربة والسماد وتنتج Streptavidin و Stravidin وهذان لهما تأثير مشابه لبروتين زلال البيض. ويجعل التسخين هذه البروتينات المضادة غير نشطة.

الكولين Choline

طبيعته الكيميائية Chemical nature

التركيب الكيميائي للكولين موضح أدناه :

$$CH_3-\overset{+}{N}(CH_3)_2-CH_2CH_2OH$$

Choline

مصادره Sources

تعتبر المواد الليفية الخضراء، الخميرة، صفار البيض والحبوب مصادر غنية بالكولين.

الأيض Metabolism

يختلف الكولين عن فيتامينات B الأخرى، فهو ليس محفزاً أيضياً ولكنه يمثل مكوّناً تركيبياً ضرورياً لأنسجة الجسم، فهو جزء من الليسيثين Lecithin والذي يلعب دوراً حيوياً في التركيب الخلوي والنشاط، وهو يمثل أيضا جزءاً مهماً في أيض الليبيدات في الكبد وذلك بمنع تراكم الدهن في هذا العضو. يعمل على توفير مجاميع الميثيل في تفاعلات النقل " Transmethyation" وكجزء من استيل كولين acetylcholine والمسئول على انتقال

النبضات العصبية. يمكن أن يخلق الكولين في الكبد من الحمض الأميني ميثيونين، لذلك تتأثر الاحتياجات الخارجية من هذا الفيتامين بمستوى الميثيونين في الغذاء.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

لقد نتجت أعراض نقص في الكتاكيت والخنازير وقد اشتملت علي تأخر في النمو وارتشاح دهني من الكبد. ويرتبط الكولين بمنع حالة انزلاق الوتر في الكتاكيت (perosis أو Slipped tendon).

احتياجات الحيوانات للفيتامين ليست بدرجة كبيرة، ولكن بالرغم من هذا فإن أعراض النقص غير شائعة في حيوانات المزرعة وذلك بسبب انتشاره الواسع و تراكيزه العالية في الأغذية وإمكانية تكوينه من الميثيونين.

فيتامين B_{12} Vitamin B_{12}

طبيعته الكيميائية Chemical nature

يعتبر فيتامين B_{12} من أكثر كل هذه الفيتامينات تعقيداً من حيث التركيب. الوحدة الأساسية له هي نواة الكورين Corrin والتي تتكون من تركيب حلقي من أربع حلقات خماسية تحتوي على نيتروجين، وتوجد ذرة كوبلت في المركز النشط لهذه النواة. عادة ترتبط مجموعة سيانيد بالكوبلت كوسيلة للعزل وحيث أن هذه هي أكثر صور الفيتامين ثباتاً فهي الصورة التي ينتج بها الفيتامين تجارياً. في الحيوان تستبدل أيونات السيانيد بأيونات متنوعة، مثل الهيدروكسيل (hydroxocobalamin)، الميثيل

(methylcobalamin)، وايونات 5 – deoxyadenosy l

(5 –deoxyadenosylcobalamin)، وتعمل الصورتان الأخيرتان كقرائن أنزيمات في أيض الحيوان.

Vitamin B_{12} (cyanocobalamin)

مصادره Sources

يعتقد بأن فيتامين تصنيع B_{12} يكون مقتصراً على الكائنات الحية الدقيقة كما يكون وجوده في الغذاء أساساً من منشأ ميكروبي. وتعتبر الأغذية ذات الأصل الحيواني هي المصادر الرئيسية الطبيعية للفيتامين، كما يعتبر الكبد بصور خاصة مصدراً غنياً. إن تواجده المحدود في النباتات الراقية لا يزال موضع نقاش، نظراً لأن الكثير يعتقدون أن وجوده بكميات طفيفة ربما يكون نتيجة التلوث بالبكتيريا أو بقايا الحشرات.

الأيض Metabolism

قبل أن يمتص فيتامين B_{12} من قبل الأمعاء يجب أن يرتبط مع جلايكويروتين متخصص جداً، يسمي العامل الذاتي، والذي يفرز بواسطة الغشاء المخاطي المعدي. وقد يكون هذا العامل غير موجود في الإنسان مما يؤدي إلى انخفاض امتصاص الفيتامين ويسبب حالة تعرف بالأنيميا الخبيثة (Pernicious anaemia).

تعمل أشكال قرائن الإنزيمات من فيتامين B_{12} في عدة أنظمة إنزيمية مهمة، و تشمل هذه Isomerases، أنزيمات الزموة dehydrases والأنزيمات التي تدخل في التخليق الحيوي لحمض الميثيونين من الهوموسيستائن homacysteine. إن دور فيتامين B_{12} في أيض حمض البروبيونيك إلى حمض ساكينك له أهمية خاصة في تغذية المجترات. في هذا المسار فإن الفيتامين ضروري لتحويل:Methylmalonyl coenzyme A

إلى Succinyl coenzyme A

أعراض النقص Deficiency Symptoms

تعتبر الحيوانات البالغة عموماً أقل تأثراً بنقص فيتامين B_{12} من الحيوانات الصغيرة النامية والتي يتأخر فيها النمو بشدة ويرتفع النفوق.

في الدواجن، إضافة إلى التأثير على النمو، وربما يحدث ضعف تكون الريش وضرر في الكلى، والدجاج الذي لا يحصل على الفيتامين يظل سليماً ولكن نسبة الفقس تتأثر بشدة.

في الأغذية التي ينقصها فيتامين B_{12}، تنمو صغار الخنازير ببطء ويظهر عليها عدم تناسق في الأرجل الخلفية، وفي الخنازير الكبيرة يظهر التهاب الجلد وتخشن الشعر ويؤدي كذلك إلى نمو دون الطبيعي.

لقد عزلت الكائنات الحية القادرة على تخليق فيتامين B_{12} من زرق الدواجن، ولهذه الحقيقة صلة تطبيقية مهمة عندما تكون للطيور حرية الوصول إلى الفرشة حينما تكون معظم الاحتياجات من الفيتامين إذا لم يكن جميعها يمكن الحصول عليه من الزرق.

يخلّق فيتامين B_{12} وعدد من نظائره غير النشطة حيوياً بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في الكرش، وعلى الرغم من انخفاض امتصاص الفيتامين من الأمعاء، تتحصل المجترات وبشكل طبيعي على كمية كافية من الفيتامين من هذا المصدر. من ناحية ثانية، إذا كانت مستويات الكوبلت في الغذاء منخفضة، قد يظهر النقص ويسبب انخفاض الشهية، الهزال والأنيميا . إذا كانت مستويات الكوبلت كافية، فإن المصدر الغذائي من الفيتامين يكون غير ضروري ماعدا في حالة صغار الحيوانات المجترة.

عوامل النمو الأخرى التي تشملها فيتامين B المركب

Other growth factors included in the vitamin B complex

لقد تم تضمين عدد من المواد الكيميائية ذات الطبيعة العضوية في فيتامين B المركب، و تشمل هذه إينوسيتول (inositol)، حمض أوروتيك (orotic acid) حمض ليبويك (Lipoic acid)، روتن (rutin)، كارنيتين (carnitine)، وحمض البانجاميك (pangamic acid) ولكن من غير المؤكد فيما لو كان لهذه المركبات أهمية عملية كبيرة في تغذية حيوانات المزرعة.

فيتامين ج Vitamin C

طبيعه الكيميائية Chemical nature

عرف فيتامين ج كيميائياً بحمض الأسكوربيك L – ascorbic acid وله الصيغة التالية:

```
O ═ C ────┐
    |     |
HO ─ C    |
    ‖     O
HO ─ C    |
    |     |
 H ─ C ────┘
    |
HO ─ C ─ H
    |
    CH2OH
```

L-Ascorbic acid

الفيتامين عبارة عن مركب مُتبلور، عديم اللون، قابل للذوبان في الماء له خصائص حمضية ومختزلة قوية. ويكون الفيتامين في المحلول الحمضي أكثر ثباتا مع الحرارة ولكنة قابل للهدم في وجود قلوي. إن هدم الفيتامين يمكن أن يزداد بواسطة التعرض للضوء.

مصادره Sources

فواكه الحمضيات والخضروات الورقية الخضراء هي المصادر المعروفة جيداً لهذا الفيتامين، كذلك يتوفر حمض الأسكوربيك المخلق تجارياً.

الأيض Metabolism

يلعب حمض الأسكوربيك دوراً مهماً في مختلف آليات الأكسدة الاختزال في الخلايا الحية. يكون الفيتامين ضرورياً للمحافظة على الأيض الطبيعي للكولاجين (المادة البروتينية في النسيج الضام وفي العظام). كذلك يلعب دور مهم في نقل أيونات الحديد من البروتين الناقل له (transferring) والموجود في البلازما إلى البروتين المخزن للحديد (ferritin) والذي يعمل على تخزين الحديد في نخاع العظم والكبد والطحال، ويعمل حمض الأسكوربيك كذلك وبالاشتراك مع فيتامين E كمضاد للتأكسد وبذلك يقوم بحماية الخلايا ضد التأكسد الضار الذي تسببه الشقوق الحرة (Free radicals) .

يكون الفيتامين مطلوباً في الغذاء لعدد قليل فقط من الفقاريات - الإنسان – الرئيسيات الأخرى، خنزير غينيا، طائر البلبل الأحمر الثقاب وخفاش الفاكهة (كلاهما مستوطن في الهند) وأسماك معينة. وتحتاج بعض الحشرات واللافقاريات الأخرى أيضا لمصدر غذائي من فيتامين ج. و تقوم أنواع أخرى بتخليق الفيتامين من الجلوكوز عن طريق

حمض جلوكورونيك glucuronic acid ولاكتون حمض جولونيك gulonic acid lactone ويتطلب ذلك التخليق توفر إنزيم L–gulonolacton oxidase ويكون ذلك لدى الأنواع التي تحتاج إلى حمض الاسكوربيك كما يكون لديها نقص غذائي في هذا الإنزيم.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

إن الحالة التقليدية في الإنسان والنابعة من نقص فيتامين ج هي الإسقربوط "scurvey"، و تتميز هذه بالاستسقاء، الهزال والإسهال. العجز في تكوين الكولاجين والذي يسبب خللاً تركيبياً في العظم، الأسنان، الغضروف، الأنسجة الضامة والعضلات وتنخفض مقاومة العدوى. بما أن حيوانات المزرعة يمكنها تخليق هذا الفيتامين فإن أعراض النقص سوف لن تظهر في الظروف العادية. من ناحية ثانية، فإن هناك احتمالاً بأنه تحت ظروف معينة، مثل الإجهاد المناخي في الدواجن يصبح الطلب على حمض الاسكوربيك أكثر مما يمكن توفيره عن طريق التخليق العادي من الأنسجة وربما يصبح المكمل الغذائي مفيداً.

الإفراط في تناول الفيتامينات Hypervitaminosis

الإفراط في تناول الفيتامينات هو اسم يعطى لحالات مرضية ناتجة عن جرعة فيتامينات مفرطة. من غير المرجح أن تعطى حيوانات المزرعة جرعات فيتامينات مفرطة تحت الظروف الطبيعية، بالرغم من أنه عند إضافة فيتامينات مخلقة إلى الغذاء غالباً ما يكون هناك خطر من إمكانية تناول كميات كبيرة غير عادية وذلك عند حصول أخطاء أثناء الخلط. يوجد دليل تجريبي بأن أعراض تسمم قد تحدث عندما أعطيت الحيوانات كميات زائدة من

فيتامين A أو D. علامات سريرية للإفراط في تناول فيتامين A في الكتاكيت الصغيرة التي حفظت تحت ظروف تجريبية وأعطيت جرعات عالية جداً من فيتامين A و تشمل هذه فقدان الشهية، ضعف النمو، إسهالاً، قشوراً حول الفم واحمرار الجفون أما في الخنازير فإن أعراض التسمم تشمل تخشن الجلد، بشرة قشرية ، فرط الاهتياج، نزفاً فوق الشفاه والبطن، رعشات دورية (متكررة) والموت. تناول فيتامين D بإفراط يسبب مستويات غير طبيعية في مستويات الكالسيوم والفوسفور في الدم، والتي تؤدي إلى ترسب أملاح الكالسيوم في الشرايين والأعضاء. وقد لوحظت أعراض الزيادة في تناول فيتامين D في الأبقار والعجول، حيث بينت التقارير ضعف النمو وأنيميا ناتجة من جرعات زائدة في الميناديون (فيتامين K).

مراجع الفصل الخامس

1. Aurbach G D et al. (eds) *Vitamins and Hormones*: *Advances in Research and Applications* (annual or biennial volumes since 1942). New York, Academic Press.
2. Bieber-Wlaschny M 1988 Vitamin requirements of the dairy cow. In Garnsworthy P C (ed.) *Nutrition and Lactation in The Dairy Cow*. London, Butterworths: 135-156.
3. Diplock A T (ed.) 1985 *Fat Soluble Vitamins: Their Biochemistry and Applications*. London, Heinemann.
4. Latscha T 1990 *Carotenoids- Their Nature and Significance in Animal Feeds*. Basel, Hoffmann-La Roche.
5. Machlin L J (ed.) 1984 *Handbook of Vitamins*. New York, Marcel Dekker.

الفصل السادس

المعادن

المعادن

Minerals

بالرغم من أن معظم العناصر المعدنية التي ظهرت طبيعياً قد وجدت في أنسجة حيوانية فإن العديد منها يعتقد بأنها تواجدت بسبب أنها كانت من مكونات غذاء الحيوان فحسب وربما ليست لها وظيفة أساسية في بعض الحيوان.

إن مصطلح " عنصر معدني أساسي "مقتصر على أي عنصر معدني أثبت بأن له دور أيضي في الجسم. وقبل أن يصنف عنصر ما بأنه أساسي فإن الاعتبار العام يحتم إثبات أن الغذاء الخالي من ذات العنصر يسبب أعراض نقص في الحيوانات وأن تلك الأعراض يمكن التخلص منها أو الحد منها بإضافة ذلك العنصر إلى الغذاء التجريبي. وقد أجريت معظم بحوث تغذية المعادن بهذه الطريقة ولكن ولسوء الحظ فقد كان الاحتياج لبعض العناصر المعدنية المطلوبة من قبل الحيوان للصحة الطبيعية والنمو بكميات دقيقة مما جعل تركيب غذاء ناقص من الصعب تحقيقه في غالب الأحيان. في مثل تلك الدراسات يكون ضرورياً ليس فقط مراقبة مصادر الطعام والماء ولكن التأكيد أيضاً على أن الحيوان لن يحصل على العنصر المدروس من الأقفاص و المعالف و المرافق أو من غبار الجو.

حتى سنة 1935، كان هناك 13 عنصراً معدنياً تم تصنيفها بأنها أساسية وتشمل هذه عناصر كبرى (كالسيوم، فوسفور، بوتاسيوم،صوديوم، كلور، كبريت، ماغنيسيوم) وعناصر صغرى (حديد، يود، نحاس، منجنيز، زنك (الخارصين)، كوبلت). بحلول 1970 أضيفت عناصر مثل موليبدينم، سيلينيوم، كروميوم وفلورين إلى القائمة وفيما بعد تضمنت

أيضاً الأرسينك (الزرنيخ)، البورون، الرصاص، الليثيوم، النيكل، السيليكون، القصدير والفاناديوم، وهناك احتمال كبير أن هذه القائمة غير كاملة ويقترح بأن ما يربو على 40 عنصر أو أكثر لها ادوار أيضية في أنسجة الثدييات. ولحسن الحظ فإن العديد من هذه العناصر النادرة وخاصة تلك التي تم اكتشافها حديثاً تكون مطلوبة بكميات دقيقة أو أنها منتشرة بكثرة في أغذية الحيوان وان النقص يكون نادراً جداً تحت الظروف العملية الطبيعية.

إن تقسيم المعادن الأساسية إلى عناصر كبرى وعناصر صغرى يعتمد على تركيزها في الحيوان أو على الكميات المطلوبة في الغذاء (الكميات التي يقتضي توفرها في الغذاء).

عادة ما توجد العناصر الصغرى في الجسم بتركيز لا يتعدى 50 ملجم/كجم وهي مطلوبة بمعدل أقل من 100 ملجم/كجم غذاء. العناصر المعدنية الضرورية والتي لها أهمية غذائية خاصة وتركيزاتها التقريبية في جسم الحيوان موضحة في جدول 1.6.

توجد المعادن في الجسم في صور مختلفة والتي يمكن اعتبارها تقسيمات، ويوجد مخزون مركزي أو تبادل داخل التقسيمات وهي عادةً بلازما الدم مع تقسيم أو أكثر والتي تقوم بتبادل المعدن مع التقسيم المركزي بمعدّلات مختلفة، أي بمعنى أن التقسيمات سهلة أو صعبة التحريك. تحدث العمليات الأيضية خلال المخزون المركزي (البلازما) وهي تستقبل المعادن من التقسيمات الأخرى، القناة الهضمية والتقسيمات صعبة التحرك. ويقوم المخزون المركزي بإخراج المعدن إلى التقسيمات سهلة التحرك، والتقسيمات صعبة التحرك، القناة الهضمية، الكلى واللبن. يمكن قياس التدفق بين التقسيمات عن طريق

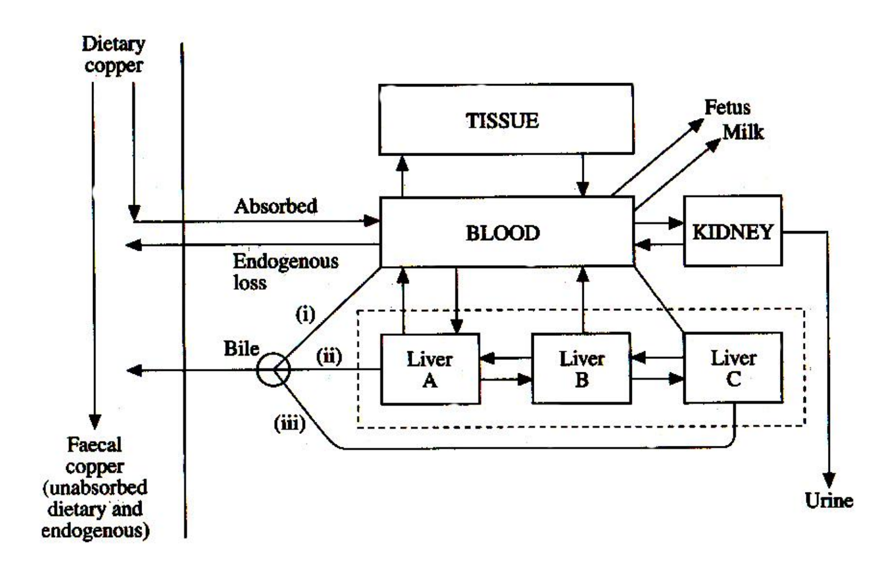
جدول 1.6 العناصر المعدنية الضرورية المهمة غذائياً وتركيزها التقريبي في الحيوان

عناصر كبرى	جم/كجم	عناصر صغرى	ملجم/كجم
كالسيوم	**15**	حديد	**80 - 20**
فوسفور	**10**	زنك " خارصين "	**50 - 10**
بوتاسيوم	**2**	نحاس	**5 – 1**
صوديوم	**1.6**	موليبدينم	**4 – 1**
كلور	**1.1**	سيلينيوم	**2 – 1**
كبريت	**1.5**	يود	**0.6 – 0.3**
ماغنيسيوم	**0.4**	منجنيز	**0.5– 0.2**
		كوبلت	**0.1 – 0.02**

مجموعة تجارب مقارنة وحقن مادة معلَّمة (Marker) ذات نشاط مشع وأخذ عينات من الأنسجة مع مرور الوقت. مثال لتقسيمات النحاس في الجسم موضحة في شكل 1.6. تقريبا جميع عناصر المعادن الضرورية، ويعتقد بأن لكل من العناصر الكبرى والعناصر الصغرى واحدة أو أكثر من الوظائف التحفيزية في الخلية. وترتبط بعض العناصر المعدنية ترتبط بقوة مع بروتينات الأنزيمات، بينما يوجد البعض الآخر في مجموعة إضافية في صورة مطوّق وهو مركب حلقي يتكون بين جزئي عضوي وأيون معدني و يمسك الأخير داخل الجزئي العضوي كأنه بمخلب (Chelate مشتقة من كلمة إغريقية تعني مخلب).

الكلورفيلات، السايتوكرومات، الهيموجلوبين وفيتامين B_{12} جميعها أمثلة للمركبات الحلقية الموجودة طبيعياً. عناصر كالصوديوم، البوتاسيوم و الكلور وظيفتها الأساسية تكون كيميائية كهربائية " electrochemical " وتتعلق بالمحافظة على التوازن القاعدي الحمضي والتحكم الأسموزي لتوزيع الماء داخل الجسم. ولبعض المعادن دور بنائي مثل الكالسيوم

والفوسفور وهي مكونات أساسية للهيكل العظمي والكبريت ضروري لتخليق بروتينات بنائية. ليس من غير الشائع وجود عنصر له العديد من الوظائف المختلفة؛ منها على سبيل المثال الماغنيسيوم يعمل كمحفز، وله وظيفة كيمو كهربائية ووظيفة بنائية، وهناك عدد من العناصر لها وظائف فريدة فالحديد له أهمية في تكوين الهيم وهو جزء أساسي في عدد من الهيموكروماجينات "haemochromagens " المهمة في التنفس "respiration" . الكوبلت مكون لفيتامين B_{12} واليود يشكل جزءاً من هرمون الثايروكسين.



شكل 1.6 مخطط للمسارات الممكنة لحركة النحاس في جسم حيوان مجتر. A هو قسم تخزين مؤقت للنحاس في الكبد مقدَّر للتبادل مع الدم والإفراز في الصفراء، B يمثل مخزون مؤقت للمساهمة في تكوين Ceruloplasmin، C يمثل قسم للتخزين طويل الأجل.

(From Symonds HW and Forbes JM 1993. Mineral Metabolism. In *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. Forbes JM and France J (eds) , Wallingford, UK, CAB International.)

ربما تتداخل بعض العناصر مثل الكالسيوم و المولبيدينم مع امتصاص ونشاط عناصر أخرى. ويعتبر تداخل العناصر مع بعضها البعض عاملاً مهماً في تغذية الحيوان، وعدم التوازن في العناصر المعدنية – كما يتضح أن للنقص البسيط أهمية في معرفة أسباب اضطرا بات غذائية معينة في حيوانات المزرعة. إن استخدام النظائر ذات النشاط المشع في السنوات الحديثة أدى إلى تطور معرفتنا في تغذية المعادن، بالرغم من أن عدة أمراض مرتبطة

بالمعادن لم يتم معرفة أسبابها الحقيقية. بالرغم من أننا أخذنا في الاعتبار الدور الأساسي للمعادن في تغذية الحيوان، فإنه من المهم أن ندرك أن العديد منها سامة- وتسبب اعتلالاً أو نفوقاً – إذا ما قدمت إلى الحيوان بكميات زائدة. و يكون هذا حقيقياً بدرجة خاصة في حالة النحاس، السيلينيوم، المولبيدينم، الفلور، الفاناديوم والزرنيخ. و يكون تراكم النحاس ساماً ويصبح الحيوان غير قادر على إخراجه بكفاءة، عند إعطاء كميات قليلة من العنصر للحيوان بشكل يتجاوز حاجة الحيوان اليومية سوف يسبب ومع استمرار الوقت أعراض تسمم، وينطبق هذا أيضا على عنصر الفلور. إضافة المعادن لأي غذاء يجب أن يطبق عادة بعناية كبيرة ويجب كذلك تجنب الاستعمال غير المميز وخاصة عند استخدام العناصر الصغرى.

تحتوي أغذية الحيوانات عادة على إضافات معدنية/عناصر نادرة/ فيتامينات وفي حالات معينة يكون من الضروري أن تشتمل على مصادر إضافية من بعض المعادن، مثل الكالسيوم للدجاج البياض. و تستخدم المصادر الشائعة لبعض المعادن كإضافات معدنية وهي الحجر الجيري (حجر الكلس) لتوفير الكالسيوم، فوسفات ثنائي الكالسيوم لتوفير الفوسفور والملح العادي للصوديوم و ماغنيسيوم مكلس " calcined magnisite " للماغنيسيوم. تجهز العناصر الصغري عادة في شكل ملح مثل السيلينيوم في شكل سيلينات الصوديوم " Sodium Selenite ". إذا أخذنا المصادر المعدنية بعين الاعتبار فإنه من الضروري النظر إلى مدى تيسر العنصر الذي نحن بصدده (الفصل 10). ويظهر أن للكالسيوم تيسراً عالياً من معظم المصادر أما الفوسفور من أورثو أو ميتافوسفات يكون

متيسراً بنسبة تتراوح بين 80 و 100 %، أما تيسر الفوسفات من الصخر قد يكون منخفضا جداً. ويكون الماغنيسيوم متيسراً من الماغنيسيوم المكلّس بنسبة 50 إلى 60 % في حين أن المتاح من كبريتات الماغنيسيوم يصل إلى 70 %. الكبريت من الكبريتات يكون متاحاً بنسبة 50 - 90 %. وتكون العناصر الصغرى في أملاح الكبريتات، الكلوريد أو النيترات متاحة بدرجة عالية وذلك بسبب قابليتها للذوبان في الماء.

وقد تصبح إضافات الأملاح المعدنية للحيوانات في المرعى مشكلة، فأحياناً يتم استخدام المعادن بدون قيد ولكن قد يتباين ما يتناوله الفرد من الحيوانات. في حالة عناصر صغرى معينة مثل الكوبلت والنحاس يمكن وضع قرص صلب في الكرش باستخدام مسدس التجريع. يذوب هذا القرص ببطء فيما بعد على مدى شهر وبذلك يوفر تحرر ثابت للمعدن، واستخدمت أيضاً بللورات أكسيد النحاس بهذه الطريقة. و تعتبر المواد القابضة المشار إليها أعلاه وإضافة المعادن المطوّقة " chelated minerals " كإضافات إلى الأغذية مجال نشط للبحث في الوقت الحالي. أحد أكثر الوسائل القابضة فعالية هو مركب المخلق (EDTA ; Ethylene diamine tetra acetic acid)، والذي له خاصية تكوين طوق ثابت مع المعادن الثقيلة. إن إضافة الوسائل القابضة إلى أغذية الدواجن قد تؤدي في بعض الحالات إلى تحسن تيسر العنصر المعدني، وقد اتضح هذا في حالة أغذية غنية بحمض الفايتك phytic acid حيث ازداد تيسر الزنك (الخارصين) والمنجنيز. من ناحية ثانية، فإن تكوّن روابط بين المعدن ومركب " EDTA " تكون قوية وكان لتجربة المواد القابضة للنحاس في الأغنام أن النحاس لا يكون متيسراً أكثر مما هو في الأملاح غير العضوية. و

يتم امتصاص الأحماض الأمينية والمواد القابضة على الببتدات بكفاءة، ومن المحتمل أن ذلك بسبب أخذها بآلية امتصاص الببتيد وليس بآلية النقل المنشّط للمعادن (الفصل 8). ولقد ازدادت مستويات الحديد والزنك في الأنسجة عن طريق التغذية على مواد قابضة للحديد مع بيبتيد ثنائي والتغذية على ميثيونين الزنك. استناداً إلى الخصائص المختلفة للوسائل القابضة، فإن هناك تضارباً في استخدامها كإضافات معدنية. بالنظر إلى تكاليفها، فإنها من غير المفضل أن تحل محل المصادر غير العضوية من المعادن باستثناء التطبيقات الخاصة.

العناصر الكبرى Major elements

الكالسيوم Calcium

الكالسيوم هو العنصر المعدني الأكثر وفرة في جسم الحيوان، وهو مكوّن مهم للهيكل العظمي والأسنان، حيث يوجد بنسبة حوالي 99 %، بالإضافة إلى انه مكون أساسي للخلايا الحية وسوائل الأنسجة. ويعتبر الكالسيوم أساسياً لنشاط عدد من أنظمة الأنزيمات وتشمل تلك الضرورية لانتقال النبضات العصبية وخاصية قابلية العضلة للانقباض.

كما أن له صلة بتجلط الدم. يوجد هذا في الدم العنصر في البلازما، وتحتوي بلازما الثدييات عادة على 80 – 120 ملجم كالسيوم/لتر، ولكن في حالة الدجاج البياض فإنها تحتوي أكثر (بين 300 – 400 ملجم/ لتر).

تركيب العظام Composition of bone

العظام تركيب بالغ التعقيد، وتحتوي المادة الجافة به على حوالي 460 جم مادة معدنية /كجم، 360 جم بروتين/كجم و 180 جم دهن/كجم. تختلف تلك المكونات تبعاً إلى العمر والحالة الغذائية للحيوان. الكالسيوم والفوسفور هما العنصران المعدنيان الأكثر وفرة في العظم فهما يتحدان بشكل يماثل ذلك الموجود هيدروكسي اباتيت المعدني hydroxyapatite $3Ca_3(PO_4)_2 . Ca(OH)_2$. ويحتوي رماد العظم تقريباً على 360 جم كالسيوم/كجم، 170 جم فوسفات/كجم وعلى حوالي 10 جم ماغنيسيوم/ كجم. من الناحية الكيميائية، فإن الهيكل العظمي لا يعتبر وحدة ثابتة نظراً لانطلاق كميات كبيرة من الكالسيوم والفوسفور بواسطة إعادة الامتصاص (reabsorption الإرتشاح)، ويحدث هذا خاصة أثناء الإدرار وإنتاج البيض، وذلك بالرغم من أن تبادل الكالسيوم والفوسفور بين العظام والنسيج الضام يكون عادة عملية مستمرة. ويتم التحكم في إعادة الامتصاص للكالسيوم بواسطة فعل الغدة المجاورة للدرقية. إذا غذيت حيوانات على غذاء منخفض في الكالسيوم، فإن الغدة المجاورة للدرقية تحفز ويعمل الهرمون المنتج على إعادة الامتصاص من العظم وبذلك يحرر الكالسيوم لمواجهة احتياجات الحيوان. حيث أن الكالسيوم مرتبط بالفوسفور في العظم، لذلك فإن الفوسفور المتحرر يتم إخراجه بواسطة الحيوان. كما أن هرمون الغدة المجاورة للدرقية يلعب أيضاً دوراً مهماً في تنظيم كمية الكالسيوم الممتصة من الأمعاء عن طريق تأثيره في إنتاج

1 , 25 – dihydroxy cholecalcifreol وهو مشتق من فيتامين D، والذي يقوم بتكوين بروتين مرتبط بالكالسيوم.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

عند نقص الكالسيوم في غذاء الحيوانات النامية الصغيرة، فإن تكون العظم لا يتم بشكل كافٍ، وتحدث حالة تعرف بالكساح. وأعراض الكساح هي عظام متشوهة، انتفاخ المفاصل، عرج، تيبس " stiffness "، أما في الحيوانات البالغة فإن نقص الكالسيوم يسبب لين العظام وهي انسحاب الكالسيوم من العظم بدون تعويضه وفي هذه الحالة " Osteomalacia " تصبح العظام ضعيفة وسهلة الكسر.

أما في الدجاج، فإن أعراض النقص هي المنقار والعظام لينة، تخلف في النمو، أرجل مقوسة ويكون للبيض قشرة رقيقة وربما ينخفض إنتاج البيض. إن أعراض النقص التي تم وصفها أعلاه فيما يتعلق بالكساح ولين العظام ليست مقتصرة على الكالسيوم ويمكن أن تحدث أيضاً بواسطة نقص الفوسفور وكذلك عندما تكون نسبة الكالسيوم : الفوسفور غير طبيعية، أو نقص فيتامين D. يتضح من ذلك أن عدداً من العوامل قد تكون مسئولة عن التكلس غير الطبيعي.

حمى اللبن (*Parturient Paresis*) أو حمى المخاض هي حالة شائعة بدرجة كبيرة تحدث في أبقار اللبن بعد الولادة مباشرة وتتميز بانخفاض معدّل الكالسيوم في مصل الدم (serum) وتشنج عضلي وقد يحدث شلل وإغماء في الحالات الشديدة. السبب الدقيق لهبوط الكالسيوم المصاحب لحمى اللبن غير محدد بدقة ولكن الاعتقاد العام أنه مع بداية الإدرار تكون الغدة المجاورة للدرقية غير قادرة للاستجابة بسرعة كافية لكي ترفع امتصاص الكالسيوم من الأمعاء لمواجهة الطلب الزائد. ويمكن استعادة المعدلات الطبيعية للكالسيوم

في الدم عن طريق حقنات من جلوكونات الكالسيوم" Calcium gluconate " في داخل الوريد، ولكن هذا ربما لا يكون له عادة تأثير دائم. لقد تبين بأن تجنب تناول الكالسيوم بإفراط مع المحافظة على معدلات غذائية كافية من الفوسفور أثناء فترة الجفاف تخفض حدوث حمى اللبن. إن التفكير في استعمال أغذية منخفضة الكالسيوم لزيادة امتصاصه في الحد من حمى اللبن عملياً يتطلب تقديراً جيداً لتاريخ الولادة، فإنه قد يحدث نقص للكالسيوم. إن حقن جرعات كبيرة من فيتامين D_3 لفترة قصيرة قبل الولادة قد أثبت جدواه أيضاً .

مصادر الكالسيوم Sources of Calcium

اللبن والمحاصيل الورقية الخضراء وخاصة البقوليات هي مصادر جيدة للكالسيوم، أما الحبوب والجذور فهي مصادر رديئة. المنتجات الثانوية الحيوانية والتي تحتوي على عظام مثل مسحوق السمك ومسحوق اللحم والعظم تكون مصادر ممتازة. الإضافات المعدنية والتي تقدم أحياناً لحيوانات المزرعة وبصفة خاصة حيوانات اللّبن والدجاج البياض وتشمل الإضافات حجر الجير المجروش ومسحوق العظام المبخر (steamed bone flour) وفوسفات ثنائي الكالسيوم. إذا أعطى فوسفات الكالسيوم الصخري إلى الحيوانات فإنه من المهم ضمان خلوه من الفلور وإلا سيصبح لهذه الإضافة تأثير سام.

نسبة الكالسيوم : الفوسفور

عنـــد إعطـــاء إضـــافات الكالســـيوم للحيوانـــات يجـــب الاهتمـــام بنســـبة الكالسيوم : الفوسفور في الغذاء، لأن النسبة غير الطبيعية قد تكون ضارة كضرر نقص أي من العنصرين في الغذاء. إن النسبة التي تعتبر أكثر ملاءمةً لحيوانات المزرعة من غير الدواجن تكون عامة في مدى 1:1 إلى 2 : 1، بالرغم من وجود دليل يقترح بأن المجترات يمكن أن تتحمل نسباً أكثر من ذلك شريطة تغطية احتياجات الفوسفور. في حالة احتياجات المجترات من الكالسيوم والفوسفور التي طبعت حديثاً بواسطة اللجنة الفنية لبحوث الزراعة والغذاء لاحتياجات العناصر الغذائية The Agriculture and Food Research Councils Technical Cmmittee on Responses to Nutrients فإن الاحتياجات للفوسفور يمكن أن تتعدى تلك الخاصة بالكالسيوم في بعض الظروف. وتكون نسبة الكالسيوم للدجاج البياض أكبر بكثير لأنها تحتاج إلى كميات كبيرة من العنصر لإنتاج قشرة البيض. ويعطي عادة الكالسيوم للدجاج البياض كحجر كلسي (جير) مجروش ويتم خلطة مع الغذاء، أو بدلاً من ذلك فربما يعطي جريش حجر كلسي لحد الشبع adlibtum.

الفوسفور Phosphorus

إنّ للفسفور وظائف معروفة في الجسم أكثر من أي عنصر معدني أخر، وقد تمت الإشارة إلى الارتباط القوي بينه وبين الكالسيوم. بالإضافة إلى ذلك فإنه يوجد في البروتينات الفوسفورية والأحماض النووية والدهون الفوسفورية. ويلعب هذا العنصر دوراً حيوياً في أيض الطاقة وتكوين فوسفات السكر والادينوسين ثنائي وثلاثي الفوسفات(أنظر الفصل 9). ولقد تم مناقشة أهمية فيتامين D في أيض الكالسيوم و الفوسفور في الفصل

السابق. ويعتبر محتوى جسم الحيوان من الفوسفور أقل بكثير من محتواه من الكالسيوم ففي حين أن 99 % من الكالسيوم الموجود في الجسم يكون في العظام والأسنان فإن نسبة الفوسفور في هذه التراكيب تكون حوالي 80 – 85 % من الإجمالي.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

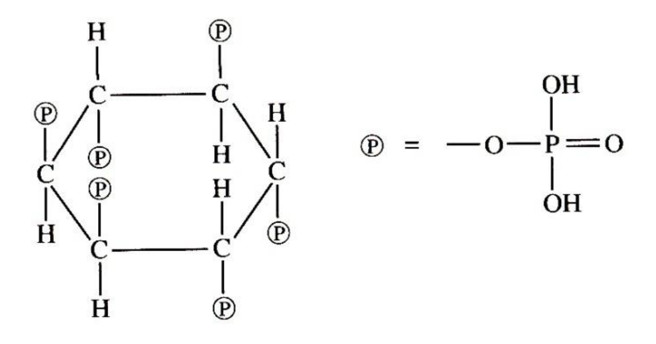
توجد مناطق واسعة من الترب الفقيرة في الفوسفور في كل مكان من العالم، خاصة في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية، ويمكن أن يعتبر نقص هذا العنصر أكثر انتشاراً وأهمية اقتصادية لكل النقص المعدني الذي تتأثر به ماشية المرعى. و يكون الفوسفور كالكالسيوم، مطلوباً لتكوين العظام ونقصه يمكن كذلك أن يسبب الكساح ولين العظام. عدم قبول للغذاء بشكل غير معتاد (pica) أو انحراف الشهية لوحظت في الأبقار عند وجود نقص الفوسفور في أغذيتها؛ حيث يكون للحيوان المتضرر شهية غير طبيعية في لعق (لحس) الخشب، العظام، الخرق (rags) والمواد الغريبة الأخرى. انحراف الشهية ليست علامة مميزة لنقص الفوسفور نظراً لأن قد تكون بسبب عوامل أخرى، و يمكن التوصل إلى دليل عن نقص الفوسفور بواسطة تحليل مصل الدم والذي يبين أن محتوى الفوسفور أقل من الطبيعي وفي حالة النقص المزمن للفوسفور يظهر على الحيوانات تيبس المفاصل وضعف عضلي.

إن تناول مستويات غذائية منخفضة من الفوسفور كانت مصحوبة أيضا بانخفاض الخصوبة، احتلال وظيفي ظاهري في المبايض مسبباً توقفاً، انخفاضاً أو عدم انتظام للشبق، وهناك أمثلة عديدة في كل مكان من العالم على رفع الخصوبة في أبقار المرعى بإضافات الفوسفور. في الأبقار فإن نقص العنصر قد يسبب نقصاً في إنتاج اللبن أيضا. إنّ نمواً أقل

من الطبيعي وانخفاضاً معدلات الزيادة في الوزن الحي في الحيوانات الناضجة هي أعراض مميزة لنقص الفوسفور في كل الأنواع species. عادة يكون النقص في الفوسفور أكثر شيوعاً في الأبقار عنه في الأغنام لأن الأخيرة تميل بأنها أكثر انتقائية في سلوكها الرعوي، فهي تفضل الأجزاء النامية في النباتات والتي يُصادف بأنها الأغنى في الفوسفور.

مصادر الفوسفور Sources of Phosphorus

إنّ اللبن، حبوب النجيليات، مسحوق السمك ونواتج اللحم المحتوية على العظم جميعها مصادر جيدة للفوسفور؛ وبصفة عامة فإن محتوى الدريس (الخرطان) والتبن يكون منخفضا جداً. ويكون الانتباه الكبير لمدى تيسر الفوسفور، لأن معظم العنصر الموجود في حبوب النجيليات يكون في صورة فايتيت " phytates " وهي أملاح حمض الفايتيك " Phytic acid" وهو مشتق حمض الفوسفوريك.



Phytic acid

توجد فايتات الكالسيوم وفايتات الماغنيسيوم غير القابلة للذوبان في الحبوب والنواتج الأخرى للنبات، وقد بينت التجارب على الكتاكيت إن الاستفادة من الفوسفور في فايتات الكالسيوم تكون بمعدل 10 % من فعالية فوسفات ثنائي الصوديوم. أما في الدجاج البياض فإن فايتات الفوسفور تستخدم بحوالي نصف معدل استخدام فوسفات ثنائي الكالسيوم. نباتات معينة مثل القمح الذي يحتوي إنزيم فايتيز " phytase " وفي معدة الخنزير يصبح بعض من فوسفور الفايتيت متيسراً عن طريق فعل هذا الإنزيم، ومن ناحية أخرى هناك احتمال أن يتكسر هذا الإنزيم في الوسط الحمضي بمجرد أن يخترق الحمض المفرز لكتلة الغذاء في المعدة. لوحظ نشاط الفايتيز المعوي الناتج من الكائنات الدقيقة ولكن يبدو أن له أهمية ضئيلة في الخنزير، أما في الأغنام، تبين أن تحلل الفايتيت بواسطة إنزيمات الفايتيز البكتيرية يحدث في الكرش. البكتيريا في المعدة الخلفية غير واضح، لذلك يبدو أن فوسفور الفايتيت يستخدم من قبل المجترات وبسهولة في أي صورة من صور الفوسفور، بالرغم من أن الدراسات على استخدام النظائر المشعة تشير إلى أن تيسر الفوسفور قد يتراوح من0.33 إلى0.90 أوضحت دراسات حديثة أن إضافة مصدر فايتيز فطري إلى غذاء الخنازير أدت إلى زيادة جوهرية في قابلية الهضم لفوسفور الفايتيت في اللفائفي وفي القناة الهضمية بأكملها. يجب تفادي تغذية مستويات مرتفعة من الفوسفور لأن الزيادة تُخرج وتُسهم في التلوث بواسطة تشجيع نمو الطحالب في مجاري المياه Water Courses، بالإضافة إلى أن زيادة تناول الفوسفور مع الماغنيسيوم يمكن أن يؤدي إلى تكون ترسبات في المثانة وفي مجرى البول (Urolithiasis) وتعوّق تدفق البول في ذكور الأغنام والأبقار.

البوتاسيوم Potassium

يمثل البوتاسيوم جزءاً مهماً جداً مع الصوديوم والكلور وايونات البيكربونات في التنظيم الأسموزي لسوائل الجسم وفي التوازن الحمضي القاعدة في الحيوان، ففي حين أن الصوديوم هو الأيون غير العضوي الموجب الرئيسي في خارج خلايا سوائل الأنسجة فإن البوتاسيوم يعمل أساساً كأيون موجب في الخلايا، ويلعب دورا مهما في اهتياج الأعصاب والعضلات وله صلة أيضا بأيض الكربوهيدرات.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

إنّ محتوى النباتات من البوتاسيوم بصفة عامة مرتفع جداً، وفي الأعشاب مثلا غالباً ما يكون أعلى من 25 ملجم/كجم مادة جافة، لذلك فإن الحيوانات تتناوله طبيعياً بكميات أكبر من أي عنصر أخر، وبذلك فإن نقص البوتاسيوم يكون نادراً في حيوانات المزرعة الموجودة تحت الظروف الطبيعية. ولعلّ الاستثناء الوحيد عند استعمال مستقطرات الحبوب (draff)، والتي هي نتيجة إزالة السائل بعد التخمر وهذا ينقصه العديد من العناصر القابلة للذوبان وتشمل البوتاسيوم، عليه فإن مكملات البوتاسيوم تصبح مناسبة عندما تمثل إضافة draff نسبة كبيرة من الغذاء.

هناك مناطق معينة من العالم حيث مستويات البوتاسيوم في التربة منخفضة طبيعياً، وتوجد مثل تلك المناطق في البرازيل، بنما و أوغندا وقد يوحي ذلك بأنه في هذه المناطق الاستوائية ربما ينشأ نقص البوتاسيوم في الحيوانات التي ترعى خاصة في نهاية موسم الجفاف الطويل عندما تكون مستويات البوتاسيوم في العشب منخفضة. وقد نتجت أعراض نقص

عند الكتاكيت التي أعطيت أغذية تجريبية ذات مستوى بوتاسيوم منخفض، وتشمل ضعفاً في النمو، ضعفاً وتكززاً يعقبه نفوق، وسجلت أيضا أعراض نقص مشتملة شللاً شديداً في عجول أعطيت لبناً مصَّنعاً به قليل من البوتاسيوم. و يتم إخراج زيادة البوتاسيوم الغذائي عادة من الجسم بسرعة خصوصاً في البول ويعتقد بعض الباحثين أن تناول هذا العنصر بشكل كبير قد يتداخل مع امتصاص وأيض الماغنيسيوم في الحيوان والذي يعد أهم عامل في أسباب التكزز بسبب انخفاض ماغنيسيوم الدم " Hypomagnesaemic tetany"

الصوديوم Sodium

يوجد معظم الصوديوم في جسم الحيوان في الأنسجة الضامة وفي سوائل الجسم، وهو مثل البوتاسيوم حيث يتعلق بالاتزان الحمضي القاعدي وتنظيم إسموزية سوائل الجسم. والصوديوم هو الأيون الموجب الرئيسي (Cation) في بلازما الدم والسوائل خارج الخلايا الأخرى في الجسم، أما بالنسبة لتركيز الصوديوم داخل الخلايا فهو قليل نسبياً حيث يستبدل العنصر وبدرجة كبيرة بالبوتاسيوم والماغنيسيوم. ويلعب الصوديوم أيضا دوراً في نقل النبضات العصبية وفي امتصاص السكريات والأحماض الأمينية من القناة الهضمية.

و يتم تناول معظم الصوديوم في صورة كلوريد الصوديوم (الملح العادي) كما يتم بهذه الصورة أيضا إخراجه بدرجة رئيسية من الجسم، وهناك دليل على أن الصوديوم وليس الكلور هو العامل الرئيسي المحدد لنقص الملح في أغذية الأغنام والأبقار.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

يحدث نقص الصوديوم في الحيوانات في العديد من أجزاء العالم وخصوصاً في المناطق الاستوائية في أفريقيا والمناطق الجافة داخل استراليا حيث تحتوى المراعي تركيزات منخفضة جداً من العنصر، حيث يؤدي نقص الصوديوم في الغذاء إلى انخفاض الضغط الأسموزى والذي يسبب جفافاً في الجسم، وتشمل أعراض نقص الصوديوم ضعف النمو وانخفاضاً في الاستفادة من البروتين المهضوم والطاقة. ويكون التأثير شديداً في الدجاج على كل من إنتاج البيض والنمو. عندما غذيت جرذان على أغذية منخفضة في الصوديوم كان لها ضرر في العيون (lesions) واضطرابات تناسلية وأخيراً نفقت.

مصادر الصوديوم Sodium Sources

إنّ محتويات الصوديوم منخفضة نسبياً بمعظم الأغذية ذات الأصل النباتي ؛ بينما تكون المنتجات الحيوانية وخاصة مساحيق اللحم والأغذية البحرية مصادر غنية. ولعلّ الملح العادي من الإضافات المعدنية الشائعة التي تعطى لحيوانات المزرعة.

الكلور Chlorine

يصاحب الكلور كلاً من الصوديوم والبوتاسيوم في العلاقة الحمضية – القاعدية والتنظيم الأسموزى، ويقوم الكلور أيضاً بدور مهم في الإفراز المعدي، حيث يوجد كحمض هيدروكلوريك وأيضاً كأملاح كلوريد. ويطرح الكلور خارج الجسم في البول، ويفقد كذلك مع الصوديوم والبوتاسيوم في التعرق " perspiration ".

قد يؤدي نقص الكلور الغذائي إلى زيادة غير طبيعية في قلوية الدم (القُلاء ;Alkalosis) نتيجة زيادة الكربونات، نظراً لأن عدم كفاية مستويات الكلور في

الجسم يتم تعويضه جزئياً بزيادة الكربونات. وقد أوضحت التجارب على الجرذان بأن استعمال أغذية ينقصها الكلور أدى إلى انخفاض النمو ولكن بدون تطور أعراض أخرى.

مصادر الكلور Sources of Chlorine

إن محتوى معظم الأغذية من الكلور باستثناء المساحيق السمك واللحم يكون منخفضاً نسبياً، حيث يختلف محتوى أعشاب المرعى من الكلور اختلافاً واسعاً. وقد سجّلت قيم تتراوح بين 3 إلى 25 جم/كجم مادة جافة، ولعلّ المصدر الرئيسي لهذا العنصر لمعظم حيوانات المزرعة هو الملح العادي (Common Salt).

الملح

Salt

نظراً لأن النباتات تميل لكونها منخفضة في كل من الصوديوم والكلور، فإن إعطاء الملح العادي إلى آكلات العشب Herbivores تعتبر من الممارسات الاعتيادية، ومن المحتمل حدوث النقص في كل من الأبقار والأغنام ما لم يتوفر الملح. وقد بينت التجارب التي أجريت في الولايات المتحدة الأمريكية (USA) وذلك بتغذية أبقار اللبن على أغذية ينقصها الملح أن الحيوانات لا تظهر عليها تأثيرات مرضية فورية، ولكن تنخفض الشهية في النهاية ويعقب ذلك فقد في الوزن وانخفاض إنتاج اللبن، كما أنّ إضافة الملح إلى الغذاء قد أدت إلى علاج فوري.

إنّ الملح مهم أيضاً في غذاء إناث الطيور الداجنة، وقد عرف بأنه يواجه ظاهرتي نتف الريش و الافتراس cannibalism. ويعطي الملح عادةً للخنازير في أغذية نباتية ولكن

تقل الحاجة إلى إضافته مع مسحوق السمك. البقايا نصف السائلة من أغذية الخنازير (Swill) يمكن أن يصبح مصدراً غنياً بالملح بالرغم من كونها تختلف كثيراً وقد يحتوي كميات كبيرة. ومما لا شك فيه أن زيادة الملح في الغذاء تكون ضارة وتسبب العطش وضعفاً عضلياً واستسقاء Oedema.

يكون التسمم بالملح شائعاً إلى حد ما في الخنازير والطيور الداجنة وخاصة عندما تكون مياه الشرب النقية محدودة، وعندما يتجاوز تركيز الملح في أغذية الدجاج 40 جم/ كجم مادة جافة ومع تحديد مصدر الماء، ربما يحدث نفوق، ويمكن أن يتحمل الدجاج كميات كبيرة من الملح عند وفرة الماء، إلا أن الكتاكيت لا يمكنها تحمل الملح كالطيور تامة النمو ويجب اعتبار أن 20 جم/كجم مادة جافة هي الحد الأعلى المطلق. ويجب عدم تجاوز هذه القيمة في أغذية الخنازير أيضاً، وتعتبر بداري دجاج الرومي أقل تحملاً ويجب عدم تجاوز الملح 10 جم/كجم من الغذاء.

التوازن الحمضي – القاعدي Acid – base balance

من الأمور المعتادة في التغذية أن المعادن والتي تشمل تلك التي لها خواص التحلل بالكهرباء (Electrolytes)، تعتبر وظيفياً أشياء منفصلة Separate Entities، ومع ذلك، من ناحية فسيولوجية، فإن الحاجة تدعو لمناقشه الالكتروليات معاً نظراً لأن الخلايا تحتاج لاتزان معين بين الايونات السالبة والموجبة وذلك لكي تعمل بكفاءة، كما أن عدم المحافظة على اتزان الكتروليتي صحيح داخل الخلية يعني أن المسارات الأيضية غير قادرة على العمل

بكفاءة وان المصادر قد انحرفت لتحقيق الاتزان البدني homeostasis على حساب النمو. ويكون الغذاء مهماً في المحافظة على الاتزان الإلكتروليتي الصحيح داخل الخلايا بسبب أن الايونات الموجبة والسالبة القابلة للأيض والتي يحتويها الغذاء والتي تستهلك أو تنتج حمضاً أثناء الأيض. التأثير الغذائي من هذه الناحية ربما يقيَّم بواسطة قياس $Na^+ + K^+ - CL^-$مل مكافئ/ وحدة وزن(unit wieght/ mequiv)، وهذا يسمي التوازن الالكتروليتي الغذائي. ومثاليا، فإن العناصر الأخرى التي تُسهم في التوازن الالكتروليتي يجب أخذها في الاعتبار، ويمكن الوصول إلى تقييم أكثر تطوراً بواسطة حساب :

$$(SO^{--}_4 + HPO_4^{--} + H_2PO^-_4 + CL^-) – (Mg^{++} + Ca^{++} + K^+ + Na^+)$$

ويعرف ذلك بالانيون الغذائي غير المحدد " dietary undetermined anion " و يحتاج الأخير إلى إمكانات تحليلية ضخمة ومن ناحية تطبيقية عادة يكفي التوازن الالكتروليتي الغذائي الأقل شمولية.

يؤثر تغيير التوازن في أيض الطاقة والأحماض الأمينية وفيتامين D والكالسيوم، وبهذه الطريقة يؤثر في كفاءة النمو في كل الأنواع " species "، ولقد اتضح أن له دوراً في تكوين قشرة البيض و حمى اللبن. لقد تمت معالجة التوازن وذلك للتغلب على تأثيرات الإجهاد الحراري في الدواجن.

وقد تسبب اضطرابات التوازن الالكتروليتي حالات مرضية معينة مثل القيء Vomiting (فقد في الكلور)، الإسهال (فقد في البيكربونات) وزيادة أكسدة

الأحماض الأمينية (زيادة في إنتاج الحمض)، وهذا من الناحية الأخرى خارج نطاق سيطرة أخصائي التغذية.

الكبريت Sulphur

يوجد معظم الكبريت في جسم الحيوان في البروتينات التي تحتوي على الأحماض الأمينية مثل السيستين السيستائين والميثيونين، كما يوجد الكبريت في فيتامينات البيوتين والثيامين وفي هرمون الأنسولين وقرين الأنزيم A وهو أهم مادة ناشئة من الأيض. المركب البنائي المسمى كبريتات الكوندرويتين وهو جزء أساسي في الغضروف العظم الأوتار وجدار الأوعية الدموية. المركبات التي تحتوي على الكبريت هي أيضاً مهمة في عناصر العملية التنفسية من الهيموجلوبين إلى السايتوكرومات. وتوجد كمية قليلة فقط من الكبريت توجد في الجسم في صورة غير عضوية، ومع ذلك فإنه من المعروف أن الكبريتات توجد في الدم بكميات قليلة. الصوف غني بالحمض الأميني السيستين Cystine ويحتوي حوالي 4 % كبريت، وعادة يعطي قليلاً من الاهتمام لأهمية الكبريت في تغذية الحيوان نظراً لأن المأكول من هذا العنصر يكون بشكل رئيسي في صورة بروتين وان نقص الكبريت سيشير إلى نقص البروتين.

من ناحية أخرى ففي السنوات الأخيرة ومع زيادة استخدام نيتروجين اليوريا ليحل جزئياً محل نيتروجين البروتين، فقد تم إدراك أن كمية الكبريت الموجودة في الغذاء ربما تكون عاملاً محدداً في تخليق أحماض السيستين، السيستائين والميثيونين في الكرش، وفي هذه الحالات تكون إضافة الكبريت للعلائق المحتوية على اليوريا مفيدة. وهناك دليل على انه

يمكن استخدام الكبريتات (مثل كبريتات الصوديوم)، بواسطة الكائنات الحية الدقيقة بالكرش بكفاءة أكثر من الكبريت كعنصر

(Elemental Sulphur). تكون لبروتينات الأنسجة وبروتينات واللبن نسبة النيتروجين إلى الكبريت 15 : 1 وفي المملكة المتحدة (UK) أوصى مجلس البحوث الزراعية (Agricultural Research Council)بأن الاحتياج إلى الكبريت يجب حسابها بواسطة ضرب الاحتياجات من النيتروجين المتحلل في الكرش في0.07

(أي يكافيء نسبة ن : كب14 :1). وتكون النسبة في حالة الصوف تكون 5 :1 وقد أوضحت التجارب على الأغنام بتحسن النيتروجين المحتجز في الجسم مع نسبة أضيق. وتكون مراعاة الكبريت في تغذية الحيوان مهمة في مناطق الإنتاج الحيواني المكثف حيث لا يتم استعادة كبريت التربة باستعمال التسميد المنتظم .

ويبدو أن الكبريت غير العضوي اقل أهمية عمليا للحيوانات وحيدة المعدة، بالرغم من أن الدراسات على الخنازير والكتاكيت والبدارى أشارت إلى أن للكبريتات غير العضوية تأثيراً بسيطاً على الاحتياج من الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت في الغذاء.

ويمكن أن يحدث التسمم من زيادة الكبريت الغذائي بشكل مفرط والذي يتحول إلى كبريتيد الهيدروجين (Hydrogen Sulphide) السام وذلك عن طريق الكائنات الحية الدقيقة في القناة الهضمية، ولعلّ هذا يخفض حركة الكرش ويسبب ألماً عصبياً وتنفسياً (nervous and respiratory distress).

الماغنيسيوم Magnesium

يرتبط الماغنيسيوم إلى حد بعيد مع الكالسيوم والفوسفور ويوجد حوالي 70 % من إجمالي الماغنيسيوم في الهيكل العظمي غير أن الباقي والذي يتوزع في الأنسجة الضامة والسوائل له أهمية حاسمة " Crucial " لمصلحة الحيوان. و يعتبر الماغنيسيوم منشطاً شاملاً للإنزيمات ومثال ذلك فهو عامل مساعد في أنظمة Thiamin pyrophosphate وقد يؤدي نقصه إلى انخفاض تفاعلات الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation و الماغنيسيوم منشط أساسي للإنزيمات الناقلة للفوسفات Phosphate transferases (Creatine Kinase) وينشّط pyruvate carboxylase، pyruvate Oxidase وتفاعلات دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل (TCA)، وعليه فهو أساسي لأيض الكربوهيدرات والليبيدات، وبالإضافة إلى ذلك فإنه يساهم في التنفس الخلوي والعديد من التفاعلات الخلوية مكوناً معقدات مع الادينوسين ثلاثي، ثنائي وأحادي الفوسفات وهو مطلوب أيضا لتكوين Cyclic AMP وساعيات (Massengers) ثانوية أخرى ، ولهذا يمكن أن نرى أن الماغنيسيوم هو العنصر الذي يعمل كمفتاح لكيمياء الخلية الحية ووظيفتها.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

لقد سجلت الأعراض الناتجة عن نقص بسيط في الماغنيسيوم في عدد من الحيوانات. وقد ظهرت أعراض تهيج عصبي وتشنج في الجرذان التي أعطيت أغذية خالية من الماغنيسيوم، أما التجارب التي أجريت على عجول تم تنشئتها على أغذية من اللبن منخفضة الماغنيسيوم فقد نتج عنه معدلات منخفضة من ماغنيسيوم مصل الدم " Serum"، واستنزاف للماغنيسيوم من العظم، تكزز والنفوق. الحالة ليست غير شائعة في

العجول المغذَاة على اللبن وأعمارها حوالي 50- 70 يوم. وقد تم التعرف على الحالة المعروفة بتكزز انخفاض ماغنيسيوم الدم مصحوبة بمستويات منخفضة من الماغنيسيوم (hypomagnesaemia) منذ بدايات `1930s، ولقد أعطي قدراً كبيراً من الاهتمام لهذه الحالة في السنوات الحديثة نظراً لانتشار وارتفاع معدل النفوق. عرف تكزز انخفاض ماغنيسيوم الدم تحت أسماء مختلفة تشمل تكزز الماغنيسيوم، تكزز الأدرار وترنح العشب ولكن تم استبعاد معظم هذه المصطلحات لأن المرض عادة لا يصاحب الإدرار أو حيوانات المرعى. ويمكن أن تؤثر الحالة في ماشية اللبن المغذاة في المربط وماشية التلال وفي العجول المخصية والماشية التي ترعى الأعشاب وكذلك الأغنام. وهناك دليل على حساسية أو درجة تأثر للسلالة في المملكة المتحدة حيث تظهر الحالة أكثر شيوعاً في سلالة الأيرشاير Ayrshire وأقل شيوعاً في حيوانات الجيرسي Jersey. أغلب الحالات تحدث في حيوانات الرعي، أما في أوربا وأمريكا الشمالية فإن المشكلة تكون شائعة في الربيع عندما تخرج الحيوانات للمرعى النامي الغض، وحيث أن الترنح قد يتطور في غضون يوم أو يومين في الحيوانات التي خرجت لترعى، فقد أشير للحالة بأنها صورة حادة. في هذا النوع الحاد، تهبط مستويات ماغنيسيوم الدم بسرعة وبذلك لا تتمكن مخزونات الماغنيسيوم في الجسم أن تستقلب بسرعة كافية. في الصورة المزمنة للمرض تهبط مستويات ماغنيسيوم البلازما إلى تركيزات منخفضة وذلك لفترة من الزمن، وهذا النوع لم يكن غير شائع في القطعان المرضعة. وتظهر العلامات الكلينيكية عادة بعوامل الإجهاد مثل البرد والمناخ الرطب والرياح، ففي الحيوانات تامة النضج لا يكون ماغنيسيوم العظام متاحاً كما هو الحال في العجول الصغيرة.

في نيوزيلندة حيث ترعى الأبقار على مدار السنة يحدث تكزز انخفاض ماغنيسيوم الدم وبصورة أكثر تكراراً في آخر الشتاء وبداية الربيع، أما في استراليا فقد كان ارتفاع حدوث المرض مصاحباً لفترات النمو السريع للمراعي أثناء الشتاء. ويكون المحتوى الطبيعي لماغنيسيوم مصل الدم في الأبقار في مدى من 17 إلى 40 ملجم ماغنيسيوم/لتر من مصل الدم، ولكن المستويات الأقل من 17 تحدث وبدون أعراض الكينكية للمرض. التكزز عادة يسبقه هبوط في ماغنيسيوم مصل الدم إلى حوالي 5 ملجم/لتر ويكون ماغنيسيوم البول أفضل دليل للنقص بالمقارنة مع ماغنيسيوم المصل لان مستويات الأخير لا تهبط إلا في وجود نقص حاد. من ناحية أخرى، فإن عدم وجود الماغنيسيوم ينعكس مباشرة في مستوياته في البول حيث 10 ملجم/ 100 مل تكون مناسبة، 2 – 10 ملجم/100 مل غير كافية وأقل من 2 ملجم/100 مل تشير إلى نقص حاد. إن حقنة تحت الجلد من كبريتات الماغنيسيوم أو يفضل لاكتيت ماغنيسيوم " magnesium Lactate " من المتوقع أن تستطيع معالجة الحيوان بشكل عام إذا أعطيت مبكراً، ولكن من ناحية عملية قد يكون هذا صعباً في بعض الأحيان. وليست المعاملة من هذا النوع علاجاً دائماً كما أن المعاملة بأكسيد الماغنيسيوم عن طريق الفم، كما شرحت أدناه يجب البداية لها مباشرة. الأعراض النموذجية للتكزز هي عصبية وارتجاف وارتعاش عضلات الوجه، ومشية مترنحة وتشنجات. إن السبب الدقيق لتكزز انخفاض ماغنيسيوم الدم في المجترات غير معروف، على الرغم من أن نقص الماغنيسيوم الغذائي قد يكون عاملاً مساهماً. ويعتبر بعض الباحثين أن الحالة ناتجة عن عدم التوازن بين الكاتيونات والانيونات في الغذاء وهناك دليل للعلاقة الايجابية بين التكزز وشدة تسميد

المرعى بالأسمدة التي تحتوي النيتروجين أو البوتاسيوم. إن استخدام الماغنيسيوم المشع في الدراسات الاستكشافية تشير إلى أن امتصاص الماغنيسيوم الموجود في الغذاء من القناة الهضمية يكون منخفضاً في بعض الحالات 50 جم/كجم فقط من ماغنيسيوم الأعشاب الذي يمكن امتصاصه من قبل المجترات. لماذا يكون هكذا في المجترات، فإنه غير معروف. حيث أن المخزون المتاح من ماغنيسيوم الجسم قليل جداً لذلك فإن الحيوانات تامة النمو تعتمد على توفر مصدر غذائي منتظم. بالرغم من أن السبب الدقيق لانخفاض ماغنيسيوم الدم لا يزال غير مؤكد، إلا انه يبدو أن العامل الأساسي هو عدم كفاية امتصاص الماغنيسيوم من القناة الهضمية. ربما يتم التوصل إلى درجة عالية من النجاح في الحد من انخفاض ماغنيسيوم الدم بواسطة زيادة تناول الماغنيسيوم ويصبح هذا فعالاً بواسطة التغذية بمخاليط معدنية غنية بالماغنيسيوم، أو بدلاً عن ذلك بزيادة محتوى الماغنيسيوم في المرعى بواسطة استخدام أسمدة الماغنيسيوم.

مصادر الماغنيسيوم — Sources of magnesium

نخالة القمح، الخميرة المجففة، معظم مركزات البروتين النباتي خاصة كسب بذرة القطن وكسب بذرة الكتان، جميعها مصادر جيدة من الماغنيسيوم وغالباً يكون البرسيم أغنى من الأعشاب في محتواها من الماغنيسيوم، كما أن هناك اختلافا كبيرا بين محتوى محاصيل الأعلاف من الماغنيسيوم. وكما ذكر سابقا فإن draff يكون فقيراً في المعادن الذائبة ومستويات عالية من هذا الغذاء في العليقة يتطلب اضافة مناسبة. المكمل المعدني المستعمل

بكثرة هو أكسيد الماغنيسيوم الذي يباع تجارياً في شكل ماغنيت كلسي Calcined magnesite، وعند توقع حدوث انخفاض ماغنيسيوم الدم فإنه عامة ما يعتقد بأن إعطاء اوكسيد الماغنيسيوم للأبقار وبمعدل حوالي 50 جم/ رأس/ يوم هو إجراء وقائي. وتكون الحقنة الوقائية اليومية للعجول 7 إلى 15 جم من الأوكسيد، بينما يكون في حالة النعاج المدرة للبن حوالي 7 جم. ويمكن أن يخلط المكمل المعدني مع العليقة المركزة، والبديل هو استعمال مخلوط من محلول خلات الماغنيسيوم والمولاس وهذا غالباً يكون متاحاً على أساس حرية الاختيار من قوالب معدنية توضع في الحقل.

العناصر الصغرى Trace Elements

الحديد

Iron

يكون أكثر من 90 % من الحديد في الجسم مرتبطاً مع البروتينات، وأهمها الهيموجلوبين (خضاب الدم)، الذي يحتوي حوالي 3.4 جم/كجم من العنصر. يوجد كذلك الحديد في مصل الدم في صورة بروتين يعرف بالترانسفيرين Transferrin والذي يختص بنقل الحديد من عضو لآخر في الجسم. و يعتبر الفيريتين (Ferritin) البروتين الذي يحتوي على ما يعادل 200 جم/كجم من العنصر يوجد في الطحال، الكبد، الكلى وفي نخاع العظام ويقوم بتخزين الحديد. هيموسيديرين Haemosiderin ويشبه مركب تخزين وقد يحتوي حوالي 350 جم/كجم من العنصر. وللحديد له دور رئيسي في عدد كبير من التفاعلات البيولوجية وبصفة خاصة تلك المرتبطة بأنزيمات سلسلة نقل الإلكترون

(Cytochromes)، حيث تنتقل الإلكترونات بواسطة نشاط الأكسدة والاختزال للحديد المرتبط، ومن بين الأنزيمات التي تحتوي أو تُنشط بالحديد نجد phenylalanine hydrolyase peroxidase , catalase , والعديد من الأنزيمات الأخرى وتشمل كل أنزيمات دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل TCA cycle.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

حيث أن أكثر من نصف الحديد الموجود في صورة هيموجلوبين، لذلك فمن المتوقع أن النقص الغذائي في الحديد سوف يؤثر في تكوين هذا المركب. وتحتوي كريات الدم الحمراء على الهيموجلوبين و يتم تكوين هذه الخلايا في نخاع العظام لاستبدال الخلايا الحمراء التالفة في جسم الحيوان كنتيجة للهدم، وبالرغم من أن جزيء الهيموجلوبين يتم إتلافه في هدم كريات الدم الحمراء هذه، إلا أن الحديد المتحرر يستخدم في إعادة تصنيع الهيموجلوبين، ولهذا السبب فإن الاحتياجات اليومية من الحديد للحيوان السليم تكون عادة قليلة. عندما تزداد الحاجة للحديد كما هو الحال عقب استمرار النزف أو أثناء الحمل، ففي ذلك الحين ربما يتأثر تصنيع الهيموجلوبين وعليه تنتج الأنيميا (فقر الدم). تحدث الأنيميا الناتجة من نقص الحديد في معظم الأحيان في الرُّضع سريعة النمو لأن محتوى الحديد في اللبن عادة يكون منخفضاً جداً، ويمكن أن يحدث هذا في صغار الخنازير piglets المرباة في حظائر صغيرة ليست لديها حرية الوصول إلى التربة. وتولد صغار الخنازير بمخزون محدود

جداً من الحديد ويوفر لها لبن الأم 1 ملجم فقط في اليوم. وتصل احتياجات هذه الصغار سريعة النمو يصل إلى 15 ملجم في اليوم وهذا ما يمكن الحصول عليه في النظم المكثفة بواسطة تناول التربة. أن تزويد أنثى الخنزير بالحديد الإضافي عند الحمل لا يعمل على زيادته في كبد أجنة صغار الخنازير أو كميته في اللبن، لذلك فإن الطريقة المعتادة لتوفيره تكون بواسطة الحقن في العضلة في شكل معقد ديكستران أو Gleptoferron، عند عمر ثلاثة أيام وعادة يتم حقن 200 ملجم من الحديد. البديل الأخر هو إضافته عن طريق الفم وهو متوفر في شكل عجينة من السيتريت أو الفيوماريت أو حبيبات ديكستران الحديد ولكن هذه قد لا تؤكل أو يفقد الحديد فيما لو حدث إسهال.

تمت محاولات لتوفير الحديد لصغار الخنازير بواسطة دعم غذاء أنثى الخنزير واعتماداً على استهلاك الصغار لروث هذه الإناث خلال فترة الفحص، وقد أدى ذلك إلى استهلاك غير منتظم وان الحقن كان أكثر فعالية. وتتميز الأنيميا في صغار الخنازير بانخفاض في الشهية والنمو ويصبح التنفس غير طبيعي ومتقطعاً ولهذا السبب فإن المصطلح الوصفي للحالة هو " thumps ". بالرغم من أن نقص الحديد غير شائع في الحيوانات الكبيرة إلا أن الأمر قد يتطلب زيادة الإضافات عند استعمال مستويات عالية من النحاس لتحفيز النمو.

ولعلّ أنيميا نقص الحديد غير شائعة في الحملان والعجول وذلك بسبب أن الممارسة العملية غالباً ما يتم فيها التقيد بالتغذية على اللبن بدون أغذية مكملة، ومن ناحية أخرى فقد تحدث في بعض الأحيان في الدجاج البياض نظراً لأن إنتاج البيض يمثل استنزافاً كبيراً لمخزونات الجسم.

مصادر الحديد Sources of Iron

ينتشر الحديد في الأغذية على نطاق واسع وتعد أوراق المواد الخضراء مصادر جيدة لهذا العنصر، وتعتبر معظم النباتات البقولية وأغلفة البذور والأغذية ذات المنشأ الحيواني مثل اللحم ومساحيق الدم والسمك مصادر ممتازة للحديد، وكما تمت الإشارة إليه سابقاً فإن اللبن مصدر رديء لهذا العنصر. ويتم امتصاص الحديد خلال القناة المعدية المعوية ولكن بدرجة رئيسية في الإثنى عشر والصائم (الجزء الأوسط من المعي الدقيق)، ويكون الامتصاص ضئيلاً ويعتمد بدرجة كبيرة على المصدر الغذائي. وتزداد كفاءة الامتصاص أثناء فترات الحاجة للحديد وتتناقص أثناء الزيادة المفرطة في العنصر. إن الآلية التي يتصرف بها الجسم في ذلك غير معروفة على الوجه الأكمل. قدمت العديد من النظريات و إحداها هي نظرية إعاقة الغشاء المخاطي " Mucosol Block "، اقترحت عام 1943 ولا تزال باقية عند العديد وذلك لتفسير تلك الآلية، وتبعاً لهذه النظرية تقوم خلايا الغشاء المخاطي في القناة المعدية المعوية بامتصاص الحديد وتحوله إلى فيرتين Ferritin، و تصبح الخلايا بعد ذلك مشبعة فسيولوجياً بهذا المركب ويتم إعاقة الامتصاص الإضافي إلى أن يتحرر الحديد وينتقل إلى البلازما. وتقترح نظرية أخرى حديثة أن المنظم الرئيسي لاستيعاب الحديد هو تركيز الحديد في الخلايا الطلائية الموجودة في الغشاء المخاطي للإثني عشر.

إن حاجة الحيوان الناضج إلى الحديد عادة قليلة، طالما أن الحديد الناتج من هدم الهيموجلوبين يصبح متاحاً لإعادة تجديده ويتخطى حوالي 10 % فقط من العنصر هذه الدورة.

التسمم بالحديد Iron Toxicity

لم يكن التسمم بالحديد مشكلة شائعة في حيوانات المزرعة، ولكن يمكن أن تنتج من المداومة على إعطاء العنصر عن طريق الفم. يؤدي التسمم المزمن بالحديد إلى اضطرابات في القناة الهضمية وانخفاض النمو ونقص الفوسفور.

النحاس Copper

من المؤكد بأن للنحاس أهمية غذائية وكان ذلك في1924 حينما بينت تجارب على الجرذان بأن النحاس كان ضرورياً لتكوين الهيموجلوبين. بالرغم من أن النحاس ليس من مكونات الهيموجلوبين الفعلية فإنه يوجد في بروتينات معينة أخرى في البلازما مثل سيرولوبلازمن " Ceruloplasmin "، والذي يختص بانطلاق الحديد من الخلايا إلى البلازما. كما أن نقص النحاس يضعف قدرة الحيوان على امتصاص الحديد وتحريكه من الأنسجة واستخدامه في تصنيع الهيموجلوبين. كذلك فإن النحاس مكوّن لبروتينات أخرى في الدم، أحداها هو Erythrocuprein وهو يوجد في كريات الدم الحمراء حيث يلعب دوراً في أيض الأوكسجين. وقد عرف العنصر أيضا بدوره الحيوي في عدة نظم من الإنزيمات فهو على سبيل المثال جزء من Cytochrome Oxidase المهم في الفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylation. ويوجد العنصر أيضا في صبغات معينة وأهم ما يمكن ذكره هنا التوراسين turacin، وهي صبغة في الريش، ويعتبر النحاس ضرورياً أيضاً لتكون الصبغة الطبيعية في الشعر، الفراء والصوف، ويعتقد بأنه موجود في كل خلايا الجسم ويتركز بضفة خاصة في الكبد والذي يعمل كعضو رئيسي لتخزين النحاس في الجسم. ولقد اتضح أن النحاس يخفض وبشكل مباشر حساسية الحملان ضد العدوى.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

حيث أن النحاس يقوم بعدة وظائف في الجسم فإن هناك أعراض نقص متنوعة، و تشمل هذه الأنيميا، ضعف النمو، خللاً في العظام، إسهالاً، تدنياً في الخصوبة، غياب الصبغة الطبيعية للشعر والصوف وكذلك اضطرابات معدية معوية وضرراً في جذع الدماغ والحبل الشوكي، و يكون هذا الضرر Lesions مصحوباً بعدم التناسق العضلي ويحدث بصورة خاصة في الحملان الصغيرة.

و تعرف حالة نقص النحاس بالتخلج (Enzootic ataxia،عدم التحكم في العضلات الإرادية) وهي معروفة في استراليا لفترة من الزمن و يرتبط هذا الاضطراب هناك بالمراعى ذات المحتوى المنخفض من النحاس (2 – 4 ملجم/كجم مادة جافة) ويمكن الحد منه عن طريق التغذية بأملاح النحاس. كما أن حالة مشابهة لها تصيب الحملان وتحدث في المملكة المتحدة تعرف السَّرج (Swayback، تقوس العمود الفقري). وتتراوح علامات السّرج من الشكل الكلى في الحملان حديثة الولادة إلى مشية متمايلة مترنحة والتي تؤثر وبشكل خاص في الأطراف الخلفية. ويمكن أن تحدث الحالة في صورتين، إحداهما خلقية وتظهر عند الولادة وهي نتيجة فشل في تطور أعصاب الغمد النخاعي Mylelin Sheath والصورة الأخرى يتأخر فيها بداية المرض الكلينيكي لعدة أسابيع. والصورة الخلفية لا يمكن التخلص منها ولكن يمكن الحد من حدوثها بضمان حصول النعجة على مستوى كافٍ من النحاس في غذائها، أما السَّرج المتأخر فيمكن الحد منه أو خفضه في الحملان التي بها نقص في النحاس وذلك عن طريق الحقن parenteral بجرعات صغيرة من مركبات النحاس.

بالرغم من أن مستوى النحاس في الغذاء هو أهم عامل في مسببات السَّرج، فلا يبدو أن الحالة نتجت عن نقص غذائي بسيط لهذا العنصر فقط. وقد سجل حدوث هذا المرض في مراعي تكون محتويات النحاس بها ظاهرياً طبيعية أو حتى عالية (7 – 15 ملجم/كجم مادة جافة). ولعلّ العامل المهم هو أن كفاءة امتصاص النحاس الغذائي متباينة جداً، و كمثال على ذلك هناك اختلافات بحوالي عشرة أضعاف عند النظر إلى النعاج ذات الوجه الأسود الاسكتلندية (Scottish black face) في امتصاصها للنحاس من المرعى أثناء الخريف (0.012) ومن نبات البراسيكا الورقي Leafy brassicas (0.132). ومن المعروف أيضا أن العوامل الوراثية تؤثر في تركيز النحاس في الدم والكبد والدماغ عند الأغنام، وعليه فإن حدوث السرج Swayback قد يتأثر بالعوامل الوراثية (الطراز العرقي أو التركيب الوراثي Genotype). وعندما أعطيت حملان ذات الوجه الأسود (Scottish black face) غذاء من الشعير المدعم بالنحاس ومسحوق السمك فإنها احتجزت 6 % من نحاس الغذاء في الكبد، بينما حملان التيكسيل Texel Lambs احتجزت 13% أما حملان اللاندراس والسفولك (Finnish Landrace and Suffolk) كانت وسطية حيث احتجزت حوالي 8 – 9 %. وللنحاس له دور مهم في تكوين الصوف المتجعد، ويوجد العنصر في إنزيم مسئول عن تكوّن ربط ثنائي الكبريت في جزيئين من السيستائين المتجاورة وعند غياب الإنزيم فإن جزيئات البروتين في الصوف لا تكون مرتبطة، ويشار إلى الصوف الذي يفتقد التموج بالخيطي أو الفولاذي (Stringy or Steely).

لقد تم إحداث الأنيميا الغذائية الناتجة من نقص النحاس عن طريق التجارب على صغار الخنازير بواسطة أغذية منخفضة جداً من العنصر وهذا النوع من الأنيميا يمكن أن يظهر بسهولة في تلك الحيوانات المغذاة كلياً على اللبن. ومن غير المتوقع حدوث نقص النحاس في الحيوانات الكبيرة وإضافة العنصر يعتبر غير ضروري، ومن ناحية أخرى، فإن هناك مناطق معينة من العالم حيث يحدث نقص النحاس في الأبقار. هناك حالة تعرف محليا في استراليا بمرض الانهيار " Falling disease " والتي تم التوصل إلى أنها ترتبط بتطور انحلال عضلة القلب (Myocardium) في الحيوانات التي تغذّي على مراعي فقيرة في النحاس.

العلاقة التداخلية بين النحاس – المولبيدينم – الكبريت

Copper – molybdenum – sulphur interaction

مراعي معينة في ترب جيرية (كلسية) وهي توجد في أجزاء من انجلترا وويلز عرفت لأكثر من مائة سنة بأنها مصاحبة لحالة في الأبقار وصفت بـ Teart وتتميز بانخفاض النمو الطبيعي والإسهال وهناك اضطراب مماثل يحدث في أراضي الخث peat المستصلحة في نيوزيلندة حيث يعرف بإسهالات الخث peat scours. وتقدر معدلات المولبيدينم في مرعى Teart بحوالي 20 إلى 100 ملجم/كجم مادة جافة مقارنة مع 0.5 – 3.0 ملجم/كجم مادة جافة في المراعي الطبيعية، واعتبرت هذه الأراضي Teart أساساً على أنها molybdensis واضحة المعالم. ومن ناحية أخرى، ففي أواخر الثلاثينيات من القرن الماضي

1930's، اتضح أن التغذية على كبريتات النحاس تحكمت في الإسهال وبذلك أثبتت علاقة النحاس والموليبدينم.

ومن المعلوم أن تأثير الموليبدينم يكون معقداً وقد اعتبر أن العنصر يضفي تأثيره المحدود على احتجاز النحاس وذلك في وجود الكبريت فقط. ويتكون الكبريتيد بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في الكرش وذلك من الكبريتات الموجودة في الغذاء أو من مركبات الكبريت العضوية؛ ومن ثم تتفاعل الكبريتات مع الموليبدات molybdate لتكوين thiomolybdate الذي يتحد فيما بعد مع النحاس ليكوّن مركباً ذائباً وهو ($CuMoS_4$) Copper thiomolybdate وبذلك يحدد امتصاص النحاس الغذائي إضافة إلى ذلك فمن المرّجح انه عند تكون زيادة في الموليبدات، فقد تمتص في القناة الهضمية ويكون لها تأثير جهازي على أيض النحاس في الحيوان.

مصادر النحاس Sources of Copper

ينتشر النحاس في الأغذية على نطاق واسع ويحتمل أن يحتوي غذاء حيوانات المزرعة في الظروف العادية على كميات كافية، ويرتبط محتوى النحاس في المحاصيل ويدرجه ما على مستوى النحاس في التربة، ولكن عوامل أخرى مثل ظروف الصرف وأنواع الأعشاب تؤثر في محتوى النحاس. وتعتبر البذور ومنتجاتها الثانوية عادة غنية بالنحاس، غير أن الاتبان تحتوي القليل. ويتراوح المحتوى الطبيعي للنحاس في المرعى من حوالي 4 إلى 8 ملجم/كجم مادة جافة، أما محتوى النحاس في اللبن فهو منخفض ولهذا فمن المعتاد عند تجريع الحيوانات الصغيرة وخاصة صغار الخنازير بأملاح الحديد أن تشتمل على القليل من كبريتات النحاس.

التسمم بالنحاس Copper Toxicity

لقد تم التعرف ولفترة طويلة على أن إعطاء أملاح النحاس للحيوانات وبكميات زائدة يكون ساماً. كما أن استمرار تناول النحاس زيادة عن الاحتياجات الغذائية يؤدي إلى تراكم العنصر في أنسجة الجسم وخاصة الكبد. ويمكن اعتبار النحاس عنصراً ساماً بالتراكم، وعليه يتطلب أخذ الحيطة عند حقن أملاح النحاس للحيوانات. ويختلف تحمل النحاس بين الأنواع اختلافاً كبيراً، و تتحمل الخنازير مستويات أعلى و كذلك الأبقار بشكل نسبي. ومن ناحية أخرى، تكون الأغنام وبدرجة خاصة سريعة التأثر ويظهر التسمم المزمن بالنحاس في أغنام الزرايب (Housed Sheep) وعلى مركزات محتوية على 40 ملجم من النحاس/كجم غذاء. ويحدث تراكم تدريجي للنحاس في كبد الأغنام بالأغذية المحتوية على مقادير ضئيلة (20 – 30 ملجم/كجم) حتى الوصول إلى مستوى خطير وهو حوالي 100 ملجم/كجم مادة جافة خالية من الدهن. ومن المعروف أن التسمم ينتج في مناطق حيث تحتوي الأعشاب على نحاس يُقدَّر من 10 إلى 20 ملجم/كجم مادة جافة ومستويات منخفضة من المولبيدينم. و يُحدث التسمم بالنحاس موت موضعي في خلايا الكبد، اليرقان، فقد الشهية ونفوقاً نتيجة التسمم الكبدي hepatic coma. وهناك فروق وراثية في سرعة تأثر الحيوانات بتسمم النحاس كما أن له علاقة بكفاءة الاحتجاز حيث أغنام الوجه الأسود الاسكوتلندية أقل حساسية والأنواع الأوربية (القارية) مثل التيكسيل Texel تكون سريعة التأثر. كما أن حقن الأغنام بمكملات النحاس قبل ظهور حالات النقص يعتبر إجراء

غير حكيم وقد حدث عدد من حالات النفوق نتيجة التسمم بالنحاس تحت الظروف الاعتيادية في أجزاءً من استراليا حيث كان محتوى المرعى من النحاس مرتفعاً.

النحاس كمنشط للنمو Copper as growth promoter

في أواخر 1950`s وبداية 1960`s أوضح كل من Mitchell , Braude , Barber وزملاؤهم بالمعهد الوطني لبحوث الألبان في ريدينج The national Institute for Research in Dairying at Reading، أن الخنازير التي أعطيت مستويات عالية من النحاس (إلى 250 ملجم/كجم) في أغذيتها كان لها نمو أسرع وتحسنت كفاءة التحويل الغذائي من الخنازير غير المدعمة بالنحاس. معظم هذا النحاس لم يمتص ولكنه انتقل خلال القناة الهضمية لكي يعمل على تغيير مجموع الكائنات الحية الدقيقة بنفس الطريقة التي تعمل بها المضادات الحيوية في تحفيز النمو بالرغم من أن تأثيره لا يعتمد على المضادات أو بالإضافة لها independent of an in addition . وقد أدى القلق حول تلوث البيئة إلى تقييد استعمال النحاس كمنشط نمو في أوربا، وأعلى مستويات مسموح بها هي 175 ملجم/كجم للخنازير عند عمر 16 أسبوعاً ومن ثم 100 ملجم/كجم عند 6 أشهر من العمر علاوة على ذلك من الضروري عدم تمكين الأغنام في المراعي التي تم تسميدها بواسطة روث الخنازير(Slurry).

الكوبلت Cobalt

هناك عدد من الاضطرابات في الأبقار والأغنام، تميزت بالضعف والأنيميا والكسل (الخمول) وتم التعرف عليها منذ سنوات عديدة وقد وصفت هذه بعدة مصطلحات منها: Pining، Salt Sick، bush sickness وWasting disease (المرض المسبب للهزال). وتحدث هذه الاضطرابات في أوربا، استراليا، نيوزيلندا وفي الولايات المتحدة الأمريكية، ويحدث مرض pining pastures في عدة مقاطعات من المملكة المتحدة وهو شائع بصورة خاصة في حدود مقاطعات انجلترا واسكتلندا، في وقت مبكر أي منذ حوالي 1807 تعرف Hogg وهو مهتم بالأغنام Ettrick shepherd على مرض pining أو vanquish على أنه خلل غذائي، و يكون هذا المرض مصاحباً بنقص الكوبلت الغذائي الناتج عن تركيزات منخفضة من العنصر في التربة والأعشاب، ويمكن الحد منه في هذه الجهات عن طريق تغذية كميات صغيرة من الكوبلت. ولقد اكتشفت الوظيفة الفسيولوجية للكوبلت عندما تم عزل فيتامين B_{12} وأتضح انه يحتوي هذا العنصر. الكوبلت مطلوب من قبل الكائنات الحية الدقيقة في الكرش لتصنيع فيتامين B_{12} وفيما لو نقص العنصر في الغذاء لا يمكن تكوين الفيتامين في الكرش بكميات كافية لسد احتياجات الحيوان، وتحدث أعراض مرض pining، ولهذا يعتبر هذا المرض pining نتيجة نقص فيتامين B_{12}. وهناك دليل على هذا حيث أدت حقنات فيتامين B_{12} في الدم إلى تخفيف الحالة، بينما كان لحقن الكوبلت تأثير قليل الفائدة. بالرغم من أن العلاجات بفيتامين B_{12} سوف تؤدي إلى الحد من حدوث pining في الحيوانات المجترة، فإن الممارسة الرخيصة في جهات نقص الكوبلت هي دعم الغذاء بالعنصر لتمكين الكائنات الحية الدقيقة في الكرش من تصنيع الفيتامين لامتصاصه

فيما بعد من قبل العائل. وعندما تحصر المجترات في مراعي بها نقص في الكوبلت لا تحدث مظاهر للهزال pine إلا بعد شهور عديدة نظراً لمخزون الجسم من فيتامين B_{12} في الكبد والكلى، وعندما يستنزف هذا المخزون تتناقص الشهية تدريجياً، ويترتب على ذلك فقد الوزن ويتبعه هزال عضلي وانحراف في الشهية Pica وأنيميا حادة وأخيراً نفوق. عندما يكون النقص أقل حدة فإن عدم النمو غير الواضح " Vague Unthiftiness "الذي يصعب تشخيصه، هو العلامة الوحيدة. ومن الممكن أن تحدث أعراض نقص عندما تكون مستويات الكوبلت في الأعشاب أقل من 0.1 ملجم/كجم مادة جافة. وفي ظروف الرعي تكون الحملان أكثر تأثراً لنقص الكوبلت، تليها النعاج البالغة، العجول ثم الأبقار البالغة بذلك الترتيب. وللمجترات احتياجات من العنصر أعلى من احتياجات غير المجترات لأن البعض منه يفقد أثناء التصنيع الميكروبي لمركبات عضوية بدون نشاط فسيولوجي في أنسجة العائل، إضافة إلى ذلك انخفاض امتصاص فيتامين B_{12} في القناة الهضمية للمجترات ففي بعض الحالات يكون تيسره منخفضاً ويصل إلى0.03. وللمجترات لها احتياجات إضافية من الفيتامين بسبب استخدامه في أيض حمض البروبيونيك، وهو حمض مهم ممتص من الكرش. وهناك دليل على أن الكائنات الحية الدقيقة المعوية في غير المجترات يمكن أن تصنع فيتامين B_{12}، بالرغم من أن ذلك قد لا يكفي لمواجهة احتياجاتها في الخنازير والدواجن. إن إدخال بعض البروتين الحيواني الغني بفيتامين B_{12} في أغذية الخنازير والدواجن يعتبر تطبيقاً عاماً وذلك بدلاً من إدخال أملاح الكوبلت. وبمعزل عن أهمية

الكوبلت كمكوّن لفيتامين B_{12}، يعتقد بأن للعنصر وظائف أخرى في جسم الحيوان كأيون منشط لتفاعلات أنزيمية معينة.

مصادر الكوبلت Source of Cobalt

تحتوي معظم الأغذية كميات بسيطة من الكوبلت، ويكون المحتوى الطبيعي للكوبلت في أعشاب المرعى في حدود 100 – 250 ميكروجرام/كجم مادة جافة. ويمكن الحد من نقص الكوبلت في المجترات بواسطة تجريع الحيوانات بكبريتات الكوبلت، بالرغم من ضرورة تكرار هذا النوع من المعاملة في فترات زمنية قصيرة أو تمكين الحيوانات إلى لعق الأملاح المحتوية على الكوبلت، هذا ويمكن الحصول على مصدر متواصل من جرعة مفردة بواسطة إعطاء كريات كوبلت تحتوي 900 جم أوكسيد كوبلت/كجم؛ تبقى الكرية في الشبكية وينطلق منها العنصر لفترة طويلة. بعض من هذا العنصر لا يستخدمه الحيوان ولكنه يطرح خارج الجسم وهذا بالطبع له تأثير على تحسين حالة الكوبلت في المرعى. الخيار الأخر للمراعي التي بها نقص هو تسميد ظاهر الأرض بكميات قليلة من كبريتات الكوبلت (حوالي 2 كجم/هكتار).

التسمم بالكوبلت Cobalt toxicity

بالرغم من أن زيادة الكوبلت قد تكون سامة للحيوانات، فإن هناك حد أمان واسع بين الاحتياج الغذائي ومستوى التسمم، وبذلك يستبعد حدوث التسمم بالكوبلت تحت

ظروف الزراعة العادية. الكوبلت لا يشبه النحاس فهو يحتجز بواسطة أنسجة الجسم على نحو منخفض والزيادة في العنصر تطرح بسرعة. وتعتبر الأغنام أقل تأثراً للتسمم بالكوبلت مقارنة بالأبقار وقد لوحظ أنها تتحمل مستويات تصل إلى3.5 ملجم/كجم. وقد تؤدي الإفراط في إضافات الكوبلت لأغذية المجترات إلى تكوين نظائر لفيتامين B_{12} وخفض كمية الفيتامين الحقيقي.

اليود Iodine

إنّ تركيز اليود في جسم الحيوان قليل جداً، وعادة ما يكون أقل من 600 ميكروجرام/كجم في الحيوان البالغ. بالرغم من أن العنصر ينتشر في كل الأنسجة والإفرازات إلا أن دوره الوحيد المعروف هو في تصنيع اثنين من الهرمونات، ثايرونين ثلاثي اليود Ttiiodothyronine و ثايرونين رباعي اليود (ثايركسين) (Thyroxine) Tetraiodothyronine والتي تنتج في الغدة الدرقية. ويوجد العنصر كذلك في تايروسين أحادي اليود Monoiodotyrosen وتايروسين ثنائي اليود Diiodotyrosine وهي مركبات وسطية في التخليق الحيوي للهرمونات من الحمض الأميني تايروسين. تخزن تلك الهرمونات في الغدة الدرقية كأجزاء من بروتين Thyroglobulin والذي يطلق الهرمونات إلى الشعيرات الدموية عند الحاجة. وتقوم هرمونات الدرقية بتسريع تفاعلات في معظم أعضاء وأنسجة الجسم، وبالتالي ترفع معدل الأيض الأساسي (القاعدي) وتسرع النمو وتزيد استهلاك الأوكسجين في الكائن الحي بكامله.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

عندما يكون محتوى الغذاء من اليود غير كافٍ، فإن إنتاج هرمون الثايروكسين يقل، ولعلّ المؤثر الأساسي لمثل ذلك النقص هو تضخم الغدة الدرقية ويعرف بالجويتر المستوطن " الدراق المستوطن،Endemic goiter " وينتج عن طريق تضخم تعويضي في الغدة الدرقية. الغدة واقعة على العنق وتبرهن حالة النقص عن نفسها في صورة تورم العنق (big neck). ولعلّ الأداء التناسلي غير العادي هو أحد أهم المضاعفات الواضحة لانخفاض وظيفة الدرقية؛ و تنتج حيوانات التربية التي ينقصها اليود صغاراً عديمة الشعر، ضعيفة أو نافقة. إن نقص اليود ليس المسبب الوحيد الدراق (goiter)، فقد تم التعرف على أن أطعمة معينة تحتوي مركبات محدثة للدراق Goitrogenic وتسبب تضخم الغدة الدرقية اذا ما أعطيت للحيوانات بكميات كبيرة. و تشمل هذه الأغذية معظم عناصر البراسكا Brassica وخاصة الكرنب Kale، الكرنب الملفوف Cabbage واللفت rape وكذلك فول الصويا، بذرة الكتان، البازلا والفول السوداني. سجلت مواد تسبب الدراق(goitrogens) في لبن الأبقار المغذاة على نباتات تحتوي هذه المواد، هذا وقد تم التعرف على أن الموجودة في البراسيكا عبارة عن

L – 5 – Vinyl – 2 – oxazolidine – 2 – thione (جوترين Goitrin) والذي يعيق إضافة اليود إلى التايروسين وبالتالي يتعارض مع تصنيع الثايروكسين وعليه لا يمكن التغلب عليه بإضافة المزيد من اليود إلى الغذاء. سيانات الكبريت thiocyanate والتي توجد في مجموعة نوع البراسيكا عرفت بأنها مسببة للجوتر(goitrogenic) وقد تنتج في الأنسجة

من الجلايكوسيدات المولدة للسيانيد cyanogenetic glycosides، الموجودة في بعض الأطعمة، ويمكن الحد من نشاط سيانات الكبريت بتوفير المزيد من اليود في الغذاء.

مصادر اليود Source of iodine

يوجد اليود بكميات ضئيلة في معظم الأطعمة ويظهر بصورة رئيسية كيود غير عضوي ويتم امتصاصه في تلك الصورة من القناة الهضمية. وتعتبر الأغذية البحرية من أغنى مصادر هذا العنصر وقد سجلت قيم مرتفعة تصل إلى 6 جم/كجم في بعض الحشائش البحرية، كما أنّ مسحوق السمك كذلك مصدر غني بهذا العنصر. ويرتبط محتوى اليود في النباتات البرية بكميته الموجودة في التربة، وبالتالي هناك اختلافات واسعة في محاصيل متشابهة زرعت في مناطق مختلفة. وعادة ما تؤخذ الاحتياجات بإضافة هذا العنصر إلى الغذاء في مناطق استيطان الدراق (الجوتر) وهذا غالباً ما يكون في شكل ملح يودي، حيث يحتوي على العنصر في شكل يوديد الصوديوم أو البوتاسيوم أو يودات الصوديوم.

التسمم باليود Iodine toxicity

إنّ المستوى الغذائي الأدنى للسمية في حالة عجول تزن 80 – 112 كجم وزن حي هو حوالي 50 ملجم/كجم، بالرغم من أن بعض حيوانات التجارب تأثرت بشدة عند مستويات أقل. وتشمل أعراض التسمم انخفاض الزيادة الوزنية والمأكول من الغذاء. وفي دراسات على الدجاج البياض، وجد أن الأغذية التي تحتوي على 312 – 5000 ملجم يود/كجم أدت إلى توقف إنتاج البيض في الأسبوع الأول عند المستوى الأعلى وتدني الإنتاج

عند المستوى المنخفض. ولم تتأثر خصوبة البيض المنتج ولكن نتج عن ذلك موت جنيني مبكر وتأخر في الفقس. ويبدو أن الخنازير أكثر تحملاً لزيادة اليود ويقع المستوى الأدنى للسمية بين 400 – 800 ملجم/كجم.

المنجنيز Manganese

إنّ كمية المنجنيز الموجودة في حسم الحيوان صغيرة جداً، وتحتوي معظم الأنسجة مقادير ضئيلة من العنصر، حيث توجد أعلى التركيزات في العظام، الكبد، الكلى، البنكرياس والغدة النخامية. والمنجنيز مهم لجسم الحيوان كمنشط لعدة أنزيمات مثل تلك المحللة hydrolases والناقلة لمجموعة الفوسفات kinases وهو كذلك جزء من أنزيمات arginase pyruvate carboxylase, و manganese superoxide dismutase .

أعراض النقص Deficiency Symptoms

لقد تم التأكد من وجود نقص المنجنيز في المجترات والخنازير والدواجن، وتكون التأثيرات الحادة متشابهة في كل الأنواع وتشمل تخلف النمو وعدم انتظام الهيكل العظمي وعدم التحكم في العضلات الإرادية (Ataxia) في المواليد الحديثة وضعفاً تناسلياً. ومن خلال تنشيطه لإنزيمات Glycerol transferases، فهو مطلوب لتكوين السكريدات المتعددة المخاطية Mucopolysaccharides والتي تمثل المادة العضوية في العظام. ومن المحتمل أن يكون نقص هذا العنصر في مجترات الرعي نادراً بالرغم من تحسن الأداء التناسلي في الأغنام من نوع Dorset Horn في استراليا بواسطة إعطائها المنجنيز على مدار سنتين متتاليتين. ولقد تبين أن الأغذية المنخفضة في المنجنيز تؤدي إلى ضعف أو تأخر الشبق

والإخصاب وزيادة الإجهاض في كل من الأبقار والماعز. والمنجنيز عنصر مهم في غذاء الكتاكيت الصغيرة وقد أدى النقص إلى حالة انزلاق الوتر Perosis أو Slipped tendon، وهو تشوه في تكوين عظام الأرجل، ومن ناحية أخرى لا يعتبر هو العامل الوحيد المسبب لهذه الحالة وذلك لأن انزلاق الوتر في الكتاكيت الصغيرة يزداد مع تناول مستويات مرتفعة من الكالسيوم والفوسفور أو مع نقص الكولين. صلة أخرى بين المنجنيز ونقص الكولين وتتضح في الارتشاح الدهني للكبد والتغيرات في تركيبه السطحي Ultastructure.

ويؤدي نقص المنجنيز في طيور التربية إلى انخفاض نسبة الفقص وسمك القشرة ويسبب انكماش الرأس في الكتاكيت، أما في الخنازير فإن العرج هو العلامة بالإضافة إلى بعض التشوهات الأخرى المصاحبة للنقص وتشمل ضعف الاستفادة من الجلوكوز وانخفاض الاستجابة لتجلط الدم والمحفزة بفيتامين K.

مصادر المنجنيز Sources of manganese

العنصر منتشر على نطاق واسع في الأغذية، وتحتوي معظم الأعلاف على 40 – 200 ملجم/كجم مادة جافة، ومع ذلك فإن محتوى المنجنيز في أعشاب المرعى يمكن أن يختلف على نطاق واسع وفي ظروف الحموضة قد يرتفع إلى 500 – 600 ملجم/كجم مادة جافة. وتحتوي البذور ومنتجاتها على كميات معتدلة، فيما عدا الذرة التي تكون منخفضة في محتواها من العنصر. كما أن الخمائر ومعظم الأغذية الحيوانية هي مصادر فقيرة

في المنجنيز. كما تعتبر نخالة الأرز ونفايات طحن القمح من المصادر الغنية، وتحتوي معظم الأغذية الخضراء على كميات كافية.

التسمم بالمنجنيز Manganese toxicity

هناك حدود أمان واسعة بين الجرعة السامة من المنجنيز والمستوى الطبيعي له في الأغذية. ولقد أعطيت مستويات مرتفعة قدرت بحوالي 1 جم/كجم مادة حافة في غذاء الدجاج بدون دليل على التسمم. وتعتبر الخنازير النامية أقل تحملاً: فقد تبين أن مستويات من 0.5 جم/كجم مادة جافة أدت إلى انخفاض الشهية وإعاقة النمو.

الزنك " الخارصين " Zinc

لقد وجد الزنك في كل نسيج من جسم الحيوان ويميل في أن يتراكم في العظام عن الكبد والذي يصبح العضو الرئيسي لتخزين العديد من العناصر الدقيقة الأخرى. وقد وجدت تركيزات عالية في الجلد والشعر وصوف الحيوانات، ومن المعلوم كذلك أن إنزيمات متعددة في جسم الحيوان تحتوي على الزنك وتشمل

Carbonic anhydrates, Alcohol dehydrogenate, Lactate dehydrogenate, Pancreatic Carboxypeptidase, Thymidine kinas , ،Alkaline phosphatase

بالإضافة إلى أن الزنك منشط لعديد من نظم الإنزيمات . كما يستخدم في مضاعفة الخلية والتمييز وخاصة في أيض الحمض النووي، ومن بين الوظائف الفسيولوجية الأخرى للزنك هي إنتاج وتخزين وإفراز الهرمونات واستخداماته في نظام المناعة والتوازن الالكتروليتي.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

تتميز أعراض النقص في الخنازير بنمو دون المستوى الطبيعي ونقص في الشهية وتدني معدل تحويل الغذاء وتقرن شاذ في الجلد(الطفح الجلدي؛Parakeratosis)، والأخير عبارة عن احمرار في البشرة يتلوه طفح جلدي يتطور إلى جرب(scabs). إن عرضة الحدوث لنقص هذا العنصر تكون بدرجة خاصة في صغار الخنازير خلال الرعاية المكثفة والتي قدِّمت لها أغذية جافة لحد الشبع adlibtum، بينما لو اعطيت أغذية مشابهة مبللة فقد لا تسبب هذه الحالة. ولقد زادت شدة الحالة مع مستويات عالية من الكالسيوم في الغذاء وانخفضت عند انخفاض الكالسيوم وزيادة مستويات الفوسفور. الخنازير التي أعطيت مستويات عالية من النحاس كمحفز نمو لها احتياجات زائدة من الزنك. السمات العامة لنقص الزنك في الكتاكيت تكون تأخراً في النمو، تشوهات في القدم، تجعد الريش تقرن الجلد، وعظاماً غير طبيعية ويشار إليها متلازمة بانتفاخ العرقوب swollen hock syndrome. تشمل أعراض نقص الزنك في العجول التهاب الأنف والفم، تصلب المفاصل، انتفاخ الأقدام وتقرناً شاذاً في الجلد Parakeratosis، وتكون استجابة العجول التي لديها نقص حاد في الزنك لمكملات الزنك سريعة ومفاجئة وعادة ما يلاحظ تحسن في حالة الجلد في غضون 2 إلى 3 أيام.

ولقد لوحظت مظاهر نقص الزنك وسرعة الاستجابة للعلاج في الأبقار وذلك في أجزاء من جوانا (Guyana)، اليونان، استراليا واسكندينافيا. وحيث أن مستوياته في أعلاف المرعى متقاربة ظاهرياً في تلك المناطق يُعتقد بان النقص يتوقف على بعض العوامل الأخرى في الأعشاب أو البيئة العامة.

مصادر الزنك Sources of Zinc

ينتشر العنصر باعتدال على نطاق واسع حيث تكون الخميرة هي المصدر الغني ويتركز الزنك في نخالة وجنين حبوب النجيليات. المنتجات الثانوية للبروتين الحيواني مثل مسحوق اللحم ومسحوق السمك هي عادة من أغنى المصادر للعنصر مقارنة بإضافات البروتين النباتي.

التسمم بالزنك Zinc toxicity

بالرغم من تسجيل حالات تسمم بالزنك، فإن لمعظم الحيوانات قدرة تحمل عالية لهذا العنصر. ولعلّ المعروف أن الكميات الزائدة من الزنك في الغذاء تخفض استهلاك الغذاء وقد تسبب نقص النحاس.

المولیبدینم

Molybdenum

لقد تم التوصل أول أشارة للدور الأيضي الأساسي للموليبدينم إليها سنة 1953 عندما اكتشف أن أنزيم Xanthine oxidase، ذو الأهمية في أيض البيورين هو أنزيم معدني يحتوي الموليبدينم، واتضح فيما بعد أن العنصر جزء في مكونات إنزيمين آخرين وهما Sulphite oxidase , aldehyde oxidase. إن الوظائف البيولوجية للموليبدينم بخلاف تداخله مع النحاس التي تم وصفها فيما سبق تتعلق بتكوين ونشاطات الإنزيمات الثلاثة، وبالاضافة إلى انه من مكونات Xanthine oxidase، يساهم الموليبدينم في تفاعل إنزيم Cytochrome C ويسهل اختزال الأخير بواسطة aldehyde oxidase.

أعراض النقص Deficiency Symptoms

لقد أدت الدراسات الأولى على الجرذان باستخدام أغذية منخفضة في محتواها من الموليبدينم إلى انخفاض مستويات Xanthine oxidase ولكنها لم تؤثر في النمو أو أيض البيورين، وباستخدام أغذية مشابهة منخفضة في محتواها من المولیبدینم أعطيت للكتاكيت بدون تأثيرات شديدة ولكن عند إضافة التنجستات Tungstate، وهو مضاد للموليبدينم انخفض النمو وضعفت قدرة الكتاكيت على أكسدة الزانثين إلى حمض البوليك Uric acid، ولقد تم الحد من هذه التأثيرات بإضافة المولیبدینم إلى الغذاء. كما تم الحصول على استجابة معنوية للنمو في الحملان الصغيرة عن طريق إضافة Molybdate إلى أغذية نصف نقية ومنخفضة في العنصر. ولقد تبين أن هذا التأثير على النمو يمكن أن يكون قد نشأ مباشرة عن طريق حفز هدم السيليولوز بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في الكرش. ومن ناحية أخري، فلم يلاحظ نقص المولیبدینم تحت الظروف الطبيعية في أي نوع.

التسمم بالموليبدينم Molybdenum toxicity

الدور السام للموليبدينم في الحالة المعروفة بالتيرت teart وصفت تحت عنصر النحاس. تكون كل الأبقار سريعة التأثر بالموليبدينوزز Molybdenosis، وتعتبر أبقار اللبن والحيوانات الصغيرة أكثر معاناة. كما أنّ الأغنام اقل تأثراً والخيول لا تتأثر عند مراعى الثيرت Teart pastures. ولعلّ الإسهال وفقد الوزن هما المظاهر الرئيسية للتسمم.

السيلينيوم Selenium

أصبحت الأهمية الغذائية للسيلينيوم واضحة في خمسينيات القرن الماضيٍ 1950s، عندما تبين أن معظم الأمراض العضلية في الأغنام والأبقار والحثل العضلي في الكتاكيت

يمكن الحد منه بواسطة إضافة هذا العنصر أو بفيتامين E إلى الغذاء. وقد تم إثبات الدور البيوكيميائي للسيلينيوم في جسم الحيوان في سنة 1973 عندما اكتشف أن العنصر جزء من مكونات Glutathione peroxidase، وهو أنزيم يحفز نزع بيروكسيد الهيدروجين وبهذا يعمل على حماية الأغشية من التلف الناتج من الأكسدة. ويحتوي أنزيم (Glutathione peroxidase) على أربع ذرات سيلينيوم وهي تشكل خط الدفاع الثاني بعد فيتامين E نظراً لأن بعض البيروكسيدات تبقي حتى وإن كانت هناك مستويات كافية من فيتامين E. للسيلينيوم دور إضافي وذلك لضمان الامتصاص الطبيعي للفيتامين، وهذا بسبب دوره في المحافظة على سلامة البنكرياس، ولذلك يضمن هضم الدهن بشكل سليم. ويعمل السيلينيوم أيضاً على خفض كمية فيتامين E المطلوبة للمحافظة على سلامة الأغشية الدهنية ويساعد على احتجاز الفيتامين في البلازما، وعكس ذلك يكون لفيتامين E دور إضافي مع السيلينيوم عن طريق المحافظة على العنصر في صورته النشطة ويحول دون فقده كما إنه يخفض إنتاج hydroperoxides

وبهذا تكون كمية أنزيم (Glutathione peroxidase) المطلوبة لحماية الخلية غير كافية، ومن ناحية أخرى فإن هناك حدوداً للإحلال التبادلي بين السيلينيوم و فيتامين E. لفيتامين E و للسيلينيوم وظائف في نظام المناعة والوقاية من التسمم بالمعادن الثقيلة ووظائف تبادلية أخرى وتأثرات النقص في حيوانات المزرعة تمت مناقشتها في الجزء الخاص بفيتامين E.

تحدث في أجزاء من استراليا ونيوزيلند حالة معروفة بـ ill – thrift في الحملان وأبقار اللحم وأبقار اللبن في المرعى. وتشمل العلامات الظاهرية فقد في الوزن ونفوقاً في بعض

الأحيان. ويمكن الحد من ill – thrift عن طريق المعاملة بالسيلينيوم وتحدث في بعض الحالات زيادة كبيرة في الوزن وإنتاج الصوف. وقد لوحظت استجابات مماثلة على الأغنام في تجارب أجريت في سكوتلاند، كندا والولايات المتحدة الأمريكية. ويؤدي نقص السيلينيوم في الدجاج إلى انخفاض نسبة الفقس وإنتاج البيض.

التسمم بالسيلينيوم Selenium toxicity

يختلف مستوى السيلينيوم في الأغذية النباتية اختلافاً كبيراً ويعتمد أساساً على ظروف التربة التي زرع فيها، فالمستويات الطبيعية للعنصر في أعشاب المرعى تكون عادة بين 100 و300 ميكرو جرام/كجم مادة جافة. وتحتوي بعض أنواع النباتات التي تنمو في مناطق غنية بالسيلينيوم " Seleniferous " على مستويات عالية من السيلينيوم، ولعلّ أحد تلك النباتات *Astraglus racemosus* ينمو في وايومي Wyoming بالولايات المتحدة الأمريكية، كان قد سجل بأنه يحتوي على 14 جم سيلينيوم/كجم مادة جافة بينما البقول من نوع *Neptunia amplexicaulis*، التي نمت في تربة بها سيلينيوم Selenized في كوينزلاند (Queensland) يحتوي أعلى من 4 جم من العنصر/كجم مادة جافة. ولقد تم تحديد مناطق تمركز الترب التي تحتوي على السيلينيوم في ايرلندا وفلسطين و جنوب أفريقيا. والسيلينيوم عنصر سام جداً وتركيز مقداره 5 ملجم/كجم في غذاء جاف أو 500 ميكروجرام/كجم في اللبن أو الماء ربما يكون ذا فعالية خطيرة على حيوانات المزرعة.

مرض القلوية " Alkali disease " والترنح غير الظاهر " blind staggers " هي أسماء محلية لإمراض مزمنة في الحيوانات التي ترعى في جهات معينة بها سيلينيوم في الولايات

المتحدة الأمريكية USA. و تشمل الأعراض الكسل dullness، تصلب المفاصل، سقوط الشعر من العرف أو الذيل وتشوهات في الظلف. ويمكن أن ينشأ التسمم الحاد والذي يؤدي إلى النفوق من التعرض المفاجئ لتناول مرتفع من السيلينيوم.

الفلور Fluorine

لقد تم إثبات أهمية الفلور في الحد من تسوس الأسنان بشكل نهائي. وقد أضيف الفلور إلى قائمة العناصر الضرورية في سنة 1972 عندما لوحظ تحسن معدل النمو في الجرذان بعد إضافة كميات قليلة منه إلى غذاء به قليل من الفلور. ولم تلاحظ تحت الظروف العادية مشاكل نقص واضحة المعالم في حيوانات المزرعة ولو أن نتائج الدراسات على القوارض غير قاطعة.

إنّ لمعظم النباتات قدرة محدودة على امتصاص الفلور من التربة ويتراوح المعدل الطبيعي في أعشاب المرعى من حوالي 2 - 20 ملجم/كجم مادة جافة. عادةً تحتوي الغلال والحبوب الأخرى حوالي 1 – 3 ملجم/ كجم مادة جافة.

وتعتبر الفلور عنصراً ساماً جداً، كما تكون المجترات أكثر عرضة للتأثر من غير المجترات. المستويات الأعلى من 20 ملجم/كجم مادة جافة في غذاء الماشية نتج عنها تنقر الأسنان وضعفها مؤدياً إلى تعرية تجاويف لب الأسنان، والزيادات الإضافية من الفلور تسبب انخفاض الشهية، العرج وتدني الإنتاج.

كما تحدث كذلك تشوهات في العظام والمفاصل ويرجع ذلك إلى أن الفلور المتناول قد ترسب في شبكة العظم البلورية في صور فلوريد كالسيوم. ولعلّ أشهر مصادر الخطر من

هذا العنصر هو الماء المحتوي على الفلور، والأعشاب الملوثة بغبار التلوث الصناعي واستعمال إضافات حجر الفوسفات الناعم أو الخام، أما الفوسفات المعالج فهو آمن بشكل عام.

السيليكون Silicon

لقد أظهرت الجرذان التي غذيت فيما سبق بأغذية معينة منقاة زيادة في معدلات النمو عند زيادة 500 ملجم سيلكون/كجم من الغذاء في صور ميتا سيليكات الصوديوم (Sodium Metasilicate)، وقد تم الحصول على نتائج مماثلة باستخدام الكتاكيت. ويعتبر السيليكون ضرورياً للنمو وتطور الهيكل العظمي في هذين النوعين. ويعتقد بأن العنصر يعمل كأداة بيولوجية للربط المتصالب (as a biological cross – linking agent) ويحتمل أن يتم ذلك في أحد أشكال مشتقات حمض سيليسيك Silicic acid من نوع $O - R_1 - Si - O - R_2$ وهذه الارتباطات مهمة في قوة وتركيب ومرونة النسيج الضام.

وتحدث تشوهات في العظام عند الجرذان والكتاكيت التي ينقصها السيليكون وذلك بسبب انخفاض تصنيع السكريدات المخاطبة Mucopolysaccharides في تكوين الغضروف. والسيليكون مطلوب للنشاط الأعلى لإنزيم Prolyl hydroxylase الذي يدخل في تصنيع الكولاجين، ويعتقد كذلك بأنه يساهم في عمليات أخرى تتضمن السكريدات المخاطبة مثل النمو والمحافظة على حماية جدران الشرايين والبشرة.

وينتشر السيلكيون على نطاق واسع في البيئة وفي الأغذية ولذلك فمن الصعب التنبؤ بظهور أي نقص في هذا العنصر تحت الظروف العملية.

وقد تحتوي كل الأعشاب والحبوب على ما مقداره 14 إلى 19 جم سيلكون/كجم مادة جافة وبمستويات تصل إلى 28 جم/كجم في بعض أعشاب المرعى.

وقد عرف التسمم بالسيلكون (Silicosis) منذ فترة طويلة كمرض للعاملين في المناجم نتيجة استنشاق جسيمات دقيقة من السيلكون إلى الرئتين. وتحت بعض الظروف فإن جزءاً من السيلكيون الموجود في البول يترسب في الكلية والمثانة أو الحالب ليكوّن Calculi أو (Uroliths). ويحدث مرض الحصى البولية (Silica urolithiasis) في كباش الرعي المخصية (Wethers) في غرب استراليا وفي عجول الرعي المخصية (Steers) في غرب كندا وأجزاء من شمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية.

وتؤدي السيليكا الزائدة في أغذية مثل تبن الأرز إلى انخفاض القيمة الهضمية للمادة العضوية في الأعلاف تامة النمو حيث يكون السيليكون في صورة حبيبات صلبة وهي أكثر صلابة من أنسجة الأسنان " dental tissue " ويؤدي إلى ضعف الأسنان في الأغنام " teeth wear ".

الكروم Chromium

لقد تبين أولاً أن الكروم ضروري للاستفادة الطبيعية من الجلوكوز في الجرذان. الفئران والجرذان التي أطعمت على أغذية تتكون من الحبوب واللبن الفرز Skim Milk والذي يحتوي 100 ميكرو جرام كروم/كجم وزن رطب أظهرت فيما بعد نموا أسرع وذلك عندما أعطيت إضافة من خلات الكروم. يظهر أن للكروم دوراً في القدرة على تحمل الجلوكوز، ربما يكون ذلك بتكوين مركب بين الأنسولين ومستقبلاته وانه يجدد تحمل الجلوكوز في أطفال سوء التغذية. الكروم ربما يلعب دوراً في تصنيع الدهن أيضاً وقد بينت التجارب زيادة

الكوليستيرول في المصل وزيادة كوليسيترول البروتينات الدهنية عالية الكثافة " High density lipoprotein cholesterol " في حالات النقص.

كما أن هناك اعتقاداً في اشتراكه في أيض البروتين والحمض النووي. تجارب قليلة على حيوانات المزرعة ولكن البحوث على الخنازير قد أيدت الوظائف المقترحة أعلاه، بزيادة اللحم ونقص ترسب الدهن كنتيجة لكفاءة أكثر في أيض الجلوكوز والهدم الإضافي للبروتين. إن احتمالية أن يكون لهذا العنصر دور معنوي في تغذية حيوانات المزرعة يبقى محل نظر. وليس الكروم عنصراً ساماً بدرجة خاصة وتوجد حدود أمان واسعة بين الكميات المتناولة طبيعياً وتلك التي يحتمل أن تحدث تأثيرات ضارة. وقد سببت مستويات من 50 ملجم كروم/كجم مادة جافة في الغذاء انخفاض النمو وتلف الكبد والكلى في الجرذان. عادة يستخدم الكروم في صورة أكسيد الكروم كدليل في تجارب تحديد القيمة الهضمية.

الفاناديوم Vanadium

لم تعرّف وظيفة بيوكيميائية معينة للفاناديوم ولكنه قد يلعب دوراً في تنظيم نشاط ATPase الصوديوم– البوتاسيوم، إنزيمات نقل مجموعة الفوسفات (Phosphoryl transferase enzymes) Protein Kinase, Adenyl cyclaes، ويعمل كذلك كعامل مساعد لبعض الإنزيمات. لقد ظهر نقص الفاناديوم في الجرذان والماعز والكتاكيت، وتشمل أعراض النقص ضعفاً في النمو وفي التناسل واضطراب أيض الدهن في الكتاكيت وقد سبب انخفاضاً معنويا في نمو الريش في الأجنحة والذيل عند استهلاكها أغذية تحتوي على اقل من 10 ميكرو جرام فاناديوم / كجم.

أوضحت الدراسات التي أجريت فيما بعد على الكتاكيت أن هناك استجابة معنوية في النمو عندما زادت تركيزات الفاناديوم في الغذاء من 30 ميكرو جرام إلى 3 ملجم/كجم مادة جافة. وفي الماعز الذي غذّي على أغذية تحتوي أقل من 10 ميكرو جرام فاناديوم / كجم لم يكن هناك تأثير على النمو ولكن زادت حالات الإجهاض وانخفض إنتاج دهن اللبن وارتفعت حالات النفوق في الجديان الصغار.

توجد معلومات قليلة حول محتويات الفاناديوم في الأغذية، ولكن سجلت مستويات تتراوح من 30 - 110 ميكرو جرام / كجم مادة جافة في نبات الزيوان Ryegrass. يبدو أن مسحوق سمك الرنّة مصدر غني نسبياً ويحتوي حوالي 2.7 ملجم/كجم مادة جافة. الفاناديوم عنصر سام نسبياً، وعندما أعطيت أغذية تحتوي 30 ملجم من العنصر / كجم مادة جافة إلى الكتاكيت كان هناك انخفاض في النمو؛ وعند مستويات 200 ملجم/كجم مادة جافة كانت نسبة النفوق عالية.

النيكل Nickel

لم يتم التأكد من إثبات وظيفة بيوكيميائية متميزة للنيكل ولكن يعتقد بأنه ربما يكون عاملاً مساعداً أو مكون بنائياً في الإنزيمات المعدنية وربما يكون له كذلك دور في أيض الحمض النووي. ولقد نتجت أعراض فسيولوجية من نقص النيكل في الكتاكيت والجرذان والخنازير والتي كانت تحت الظروف المخبرية، وعندما أعطى غذاء يحتوي على أقل من 40 ميكرو جرام نيكل/كجم إلى الكتاكيت تطورت لديها تغيرات في صبغات البشرة والتهاب الجلد وانتفاخ العرقوب. وقد نتج عن الأغذية ذات المحتوي المنخفض من النيكل بشرة قشرية

محرشفة في الخنازير مماثلة للتقرن الشاذ(طفح الجلد، Parakeratosis)، الذي لوحظ عند نقص الزنك (الخارصين) و يدل ذلك على تدخله في أيض الزنك. أدت إضافات النيكل إلى زيادة نشاط الإنزيم المحلل لليوريا Urease، والذي تفرزه بكتيريا الكرش.

تكون المستويات الطبيعية من العنصر في أعشاب المرعى 0.5 – 3.5 ملجم/كجم مادة جافة بينما تحتوي حبوب القمح على 300 – 600 ميكرو جرام/كجم مادة جافة. ويعتبر النيكل غير سام نسبياً كما أنّ مدn امتصاصه في القناة الهضمية منخفض وعادة لا يظهر خطر صحي جاد.

القصدير Tin

لقد تبين في سنة 1971 أن هناك تأثيراً معنوياً على النمو في الجرذان التي بقيت على أغذية من أحماض أمينية منقّاة وفي بيئة خالية من العنصر النادر تم الحصول عليه عند إضافة القصدير إلى الغذاء، وعليه دلت هذه الدراسات على أن القصدير عنصر ضروري للثدييات. ويوجد العنصر عادة في الأغذية بكميات اقل من 1 ملجم/كجم مادة جافة وكانت القيم في عشب المرعى النامي في اسكتلندا مثلاً في حدود 300– 400 ميكرو جرام/كجم مادة جافة. ولم تحدد بعد الأهمية الغذائية لهذا العنصر ولكن اقترح أن القصدير يساهم في التركيب الثالث للبروتين (tertiary Structure) أو الجزيئات الكبرى الأخرى. ويعتبر امتصاص القصدير في القناة الهضمية منخفضاً وخاصة في الصورة غير العضوية والأكول من منخفض السمية.

الزرنيخ Arsenic

ينتشر الزرنيخ على نطاق واسع في كل الأنسجة وسوائل الجسم ولكنه يتركز بصفة خاصة في البشرة والأظافر والشعر، ولقد اتضح أن العنصر ضروري للجرذ والكتكوت والخنزير والماعز وهو مطلوب لتكوين وسائط أيضية (metabdites) من الميثيونين وتشمل هذه الوسائط حمض السيستين Cystine. الحيوانات التي أعطيت أغذية ينقصها الزرنيخ كان لديها غطاء جلد خشن وانخفاض في معدل النمو مقارنة بحيوانات الشاهد التي أعطيت أغذية بها مكملات زرنيخ . وقد أوضحت دراسة طويلة الأجل أجريت على الماعز أن هناك تداخلاً مع التكاثر(إجهاض وزن الولادة منخفض) وإنتاج اللبن والنفوق المفاجئ. سمية الزرنيخ معروفة تماماً وتشمل أعراضه الغثيان، تقيؤ، إسهال وألم بطني شديد.

وتختلف سُمية مركباته اختلافاً كبيراً حيث يكون الزرنيخات ثلاثية التكافؤ Trivalen arsenical أكثر سمية من المركبات خماسية التكافؤ Pentavalent.

مراجع الفصل السادس

1. Agricultural and Food Research Council 1991 Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. 6 A Reappraisal of the calcium and Phosphorus Requirements of Sheep and Cattle. *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B: Livestock Feeds and Feeding*, **61**: 573 – 612
2. Gawthorne J M, Howell J McC and White C L (eds) 1982. *Trace Elements Metabolism in Man and Animals*. Berlin, Springer-Verlag.
3. Georgievskii V I, Annenkov B N and Samokhin V I 1982. *Mineral Nutrition of Animals*. London, Butterworths.
4. McDowell L R 1992. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. New York, Academic Press.
5. National Research Council 1980. *Mineral Tolerances of Domestic Animals*. Washington, DC, National Academy of Sciences.
6. Thompson, J K and Fowler V R 1990. The evaluation of minerals in the diets of farm animals. In Wiseman J and Cole D J A (eds) *Feedstuff Evaluation*. London, Butterworths: 235- 259.
7. Underwood E J 1977. *Trace elements in Human and Animal Nutrition*. New York, Academic Press.
8. Underwood E J 1981 *The Mineral Nutrition of Livestock*. Slough, Commonwealth Agricultural Bureaux.

الفصل السابع

الإنزيمات

إن تواجد الأشياء الحية الخضراء يشمل سلسلة متصلة من التغيرات الكيميائية، وهكذا فإن النباتات الخضراء تكّون مركبات كيميائية كالسكريات، النشا والبروتينات وبهذا تقوم بتثبيت وتخزين الطاقة، وفيما بعد تهدم هذه المركبات بواسطة النبات نفسه أو الحيوان الذي يستهلكها للاستفادة من الطاقة المخزنة. وتكون التفاعلات المعقدة والتي تشتمل علي هذه العمليات قابلة للانعكاس وعندما لا ترتبط بالكائنات الحية تكون غالباً بطيئة جداً. إن الحدود القصوى من درجة الحرارة أو الضغط أو كليهما تكون مطلوبة لزيادة سرعتها إلى المستويات العملية، وفي الكائنات الحية لا تتواجد تلك الظروف، ومع ذلك فإن عمليات تخزين وتحرر الطاقة في تلك الكائنات يجب أن تتم بسرعة عند الطلب وذلك يستلزم سرعة عالية للتفاعلات المتضمنة. وتتحقق السرعة المطلوبة من خلال نشاط المحفزات المتعددة الموجودة في الكائنات الحية. المحفز بالمعنى الكيميائي التقليدي هي مادة تؤثر في سرعة تفاعل كيميائي بدون الظهور في النواتج النهائية. وعلى نحو مميز يبقي المحفز دون تغير كميته عند انتهاء التفاعل. المحفزات المنتجة بواسطة الكائنات الحية ذات طبيعة عضوية وهي تعرف بالإنزيمات، وتكون قادرة على زيادة معدلات التفاعل بمعامل لا يقل عن 10^6. ومن الناحية النظرية فإن التفاعلات المحفزة بالإنزيمات تكون قابلة للانعكاس ويجب أن تصل إلى الاتزان. ويتم في الخلايا الحية إزالة نواتج التفاعل ولهذا فإن التفاعلات تكون وبشكل كبير أحادية الاتجاه ولا تصل إلى الاتزان، وعلى العكس فهي تصل إلى حالة استقرار وفيها تبقى تركيزات

المواد المتفاعلة ثابتة نسبياً. وسوف تعجّل التفاعلات عند الاحتياج أو قد يحدث لها تباطؤ عندما لا يتم إزالة النواتج بسرعة كافية وذلك لأجل المحافظة على حالة الاستقرار. تؤثر الإنزيمات بالتساوي في التفاعلات المدفوعة إلى الأمام والتفاعلات المنعكسة ولهذا لا تتغير حالة الاستقرار. ومن ناحية ثانية فهي تحقق ذلك بسرعة أكثر. وتحتوي كل خلية حية على مئات من الإنزيمات وتستطيع أن تؤدي وظيفتها بكفاءة، فقط إذا تم تنسيق عملها بشكل مناسب.

ومن الأهمية معرفة أن الإنزيمات تتواجد بداخل الخلية في تقسيمات محددة؛ إن الخلية ليست كيساً (حافظة) من الإنزيمات الموزعة عشوائياً. وهكذا فإن إنزيمات المرحلة الأولى في أكسدة الجلوكوز (مسار تحلل الجلوكوز، The glycolytic pathway) توجد في السيتوبلازم (Cytoplasm)، بينما تلك الإنزيمات المستخدمة في تكوين Acetyl COA من البايروفيت Pyravate وأكسدته المتتالية عن طريق دورة كريبس تكون مقتصرة على الميتاكوندريا (Mitochondria).

الأثر الحفّاز Catalytic action

تصنف الإنزيمات إلى ست مجموعات رئيسية تبعا لطريقة عملها:

1. *The Oxidoreductases*: تحفز نقل الهيدروجين و الأوكسجين أو الإلكترونات من جزيء إلى آخر مثال ذلك تأكسد اللكتات Lactate إلى بايروفات Pyruvate في وجود Lactate dehydrogenase:

$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CHOH \\ | \\ COO^- \end{array} + NAD^+ \longrightarrow \begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ C{:}O \\ | \\ COO^- \end{array} + NADH(+H^+)$$

Lactate — Nicotinamide adenine dinucleotide — Pyruvate — Reduced NAD^+

2.*The Transferases*: وهي مجموعة كبيرة من الإنزيمات التي تحفز نقل مجموعة مثل الاسيتيل، الأمينو والفوسفات من جزيء إلى آخر مثال ذلك في تكوين السيترات من اوكزال اسيتات أثناء تحرر الطاقة في الجسم وتحدث إضافة مجموعة استيل في وجود إنزيم مخلق السيترات Citrate Synthetase:

$$\begin{array}{c} CO.COO^- \\ | \\ CH_2.COO^- \end{array} + \begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ COS.CoA \end{array} + H_2O \longrightarrow \begin{array}{c} CH_2.COO^- \\ | \\ C.OH.COO^- \\ | \\ CH_2.COO^- \end{array} + HSCoA + H^+$$

Oxalacetate — Acetyl-CoA — Citrate — Coenzyme A

3. *The hydrolases*: يحفز الانقسام بالتحلل بالماء، والنموذجية منها هي المحللة للدهون والبروتينات وهي ضرورية للقيام بالوظائف الطبيعية في الكائن الحي. وقد يتحلل الدهن إلى جلسريدات (Acylglycerols) وأحماض دهنية بتأثير إنزيم اللبياز Lipase:

$$
\begin{array}{l} CH_2.O.CO.R_1 \\ | \\ CH.O.CO.R_2 \\ | \\ CH_2.O.CO.R_3 \end{array} + 2H_2O \longrightarrow \begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CH.O.CO.R_2 \\ | \\ CH_2OH \end{array} + R_3.COOH + R_1.COOH
$$

Triglyceride (Triacylglycerol) — **Monoglyceride (Monoacylglycerol)** — **Fatty acids**

وبنفس الطريق تقوم إنزيمات Peptidases بشطر البروتينات وتحليلها مائياً للرابطة الببتيدية بين مكوناتها من الأحماض الأمينية.

4. *The Lyases*: وهي إنزيمات تحفز التحللات غير المائية مثل إزالة ثاني أوكسجين الكربون ونزع المجموعة الأمينية، ومثال ذلك إنزيم

Pyravate decarboxylase يحفز تحويل (2 – oxo acid) إلى ألدهيد وثاني أوكسيد الكربون.

$$
\begin{array}{l} R \\ | \\ C{:}O \\ | \\ COOH \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} R \\ | \\ CHO \end{array} + CO_2
$$

5. *The isomerases*: وهي مجموعة من الأنزيمات التي تحفز إعادة الترتيب الجزئي الداخلي في الأيسومرات البصرية والوضعية optical and positional isomers ونجد أن Epimerases مثل أنزيم Uridine diphosphate glucose 4 – epimerase هو نموذج لهذا الصنف من الأنزيمات وهذا يحفز تغير الترتيب النسبي للذرة الرابعة في الجلوكوز وينتج الجالاكتوز.

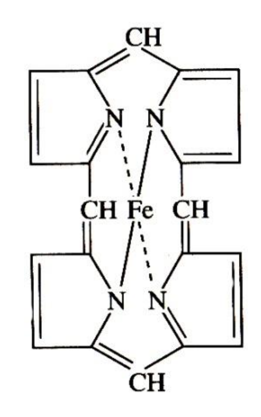
6. *The Ligases*: إنزيمات تحفز تصنيعات معينة في الجسم تشمل تفكك ATP أو مشابهات ثلاثيات الفوسفات لتوفير الطاقة للتفاعل، ويعتبر إنتاج Acetyl CoA من الاسيتات acetate بواسطة إنزيم Acetyl Coenzyme A Synthetase هو النموذج:

$$\underset{\text{Acetic acid}}{\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ COOH \end{matrix}} + \underset{\text{Coenzyme A}}{\begin{matrix} H \\ | \\ S.CoA \end{matrix}} + ATP \longrightarrow \underset{\text{Acetyl-CoA}}{\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ COS.CoA \\ \text{Acetyl-CoA} \end{matrix}} + H_2O + AMP + \underset{\text{Pyrophosphate}}{PP}$$

طبيعة الإنزيمات Nature of enzymes

لقد تم عزل العديد من الإنزيمات في حالة نقية وتبينت تركيباتها، وأثبت بأن الغالبية العظمى هي بروتينات معقدة ذوات أوزان جزيئية عالية، إلا أن هناك استثناءات مثل إنزيمات Ribozymes والتي أساسها RNA. وهي إنزيمات عديدة تحتاج إلى نوع خاص من

المجموعات غير الببتيدية ذوات وزن جزيئي منخفض، لتمكينها من أداء وظائفها التحفيزية وتعرف تلك المجموعات بقرائن الإنزيمات، وهي غالباً من نوعين. الأول ويعرف في السابق بالمجموعات الإضافية ويرتبط بشكل دائم مع البروتين أو (Apo enzyme) ومعه يشكل (Holoenzyme). مثال على ذلك (Cytochromes) وهذه مهمة في تفاعلات أكسدة معينة وخلالها تكتسب الالكترونات من المادة المختزلة وبناءً على ذلك تتأكسد هذه المادة. السايتوكرومات عبارة عن بروتينات haem وهي في حد ذاتها تحتوي التجمع العام الموضح في 1.7.



شكل 1.7 Haem grouping

وبدون مجموعة الهيم المحتوية على الحديد سيصبح الإنزيم غير نشط نظراً لأن تبادل الالكترونات يتم عند ذرة الحديد. ربما يكون مرافق الإنزيم غير عضوي كلياً كما في حالة الفلافوبروتينات والتي تحتوي مجموعة نشطة في صورة

. (FlavinMononucleotide،FMN)

يحدث تبادل ذرات الهيدروجين أثناء الأكسدة والاختزال في المواقع ذات العلامة* في شكل2.7.

شكل2.7 Flavin mononucleotide

تتكون المجموعة الثانية من جزيئات وهي ترتبط أولاً مع (Apoenzyme) ولكنها تتحرر بعد التفاعل، ولذلك فإن الصورة المؤكسدة من)

(Nicotinamid adenine dinucleotide NAD تكون مرتبطة بقوة مع)

(Apoenzyme في نظام إزالة الهيدروجين (dehydrogenase)، ولكن عندما تكتمل الأكسدة تتحرر الصورة المختزلة من الإنزيم وتتجدد الصورة المؤكسدة بواسطة التفاعل مع مستقبلات أخرى للإلكترون other electron acceptors.

قد يعمل كقرين إنزيم مرتبط كما في حالة UDP Nicotinamid adenine dinucleotide
glucose 4 – epimerase – وعندها يبقى مرتبطا مع (Apo enzyme) وفي ذلك الحين يخضع للأكسدة والاختزال الحلقية. وتحتاج عدة إنزيمات إلى وجود أيونات معدنية لتنشيطها، وتعرف مثل تلك الايونات بالمنشطات (activators)، فعلى سبيل المثال يحتاج Arginase لأيونات المنجنيز لتفاعلاته. وتوجد بعض الإنزيمات في صورة غير نشطة وهي تتغير إلى الحالة النشطة عند المكان والزمان الذي يتطلب تفاعلها، وهكذا يخلّق التريبسينوجين في البنكرياس وينتقل إلى الأمعاء الدقيقة وهناك يتغير إلى الإنزيم الهاضم النشط تريبسين. وتعطى هذا النوع من الآلية تحكماً هاماً لتوقيت واختيار مكان نشاط الإنزيم .

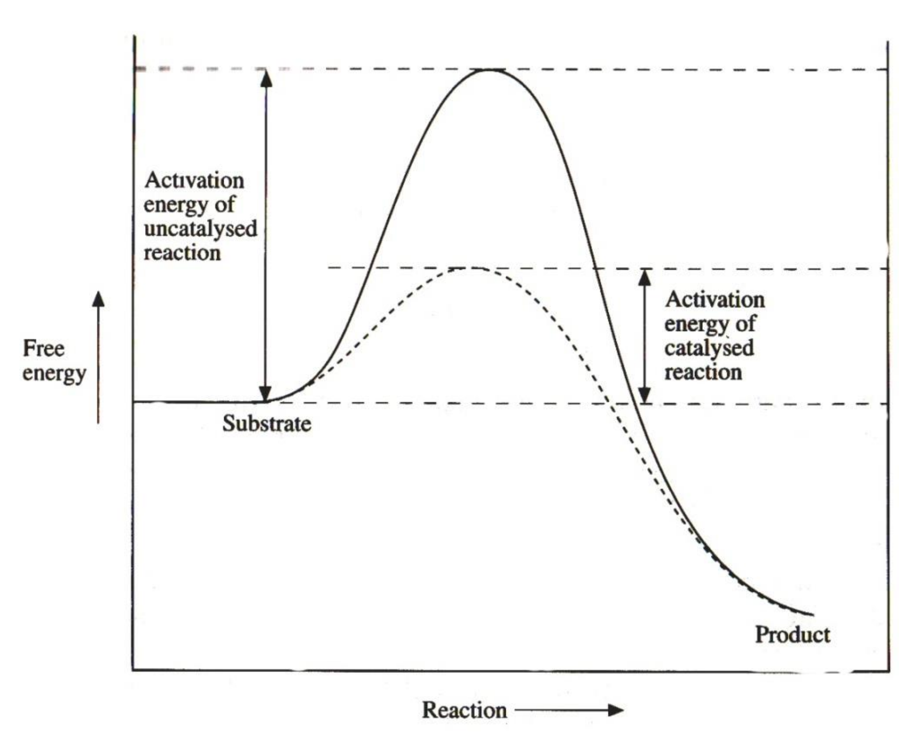
وتعرف المواد غير النشطة والتي يتشكل منها الإنزيم بالزايموجينات Zymogens وقد ترتبط مجموعات صغيرة مع الإنزيمات بروابط غير الروابط الببتيدية ولهذا تجعلها إما نشطة أو غير نشطة، ويشار إلى هذه الظاهرة بالتحور التساهمي)
(Covalen Modification ويمكن أن يعكس (يتحرك في اتجاه معاكس) بواسطة التحلل.

آلية عمل الإنزيمات Mechanism of enzyme action

يشمل عمل الإنزيم تكوين مركب بينه وبين مادة التفاعل" Substrate "، وهي المادة التي يعمل عليها، ويخضع هذا المركب إلى التفكك مولداً الناتج وإنزيماً غير متغير:

$$E + S \rightleftharpoons ES \rightleftharpoons E + P$$

عند غياب الإنزيم يتواصل التفاعل S ← P عبر حالة تحول بطاقة حرة أكثر من أي من S أو P. الفرق بين الطاقة الحرة لمادة التفاعل " S " ولحالة الانتقال هي طاقة تنشيط التفاعل، وهذه هي كمية الطاقة التي يجب أن يكتسبها الجزئ لكي يتم التفاعل. ويتناسب معدل التفاعل مع عدد جزيئات مادة التفاعل التي لها طاقة حرة أكبر من طاقة التنشيط. إن تكوين معقد بين الإنزيم ومادة التفاعل يخلق مساراً جديداً للتفاعل وتنخفض طاقة التنشيط بشدة. جزيئات أكثر سوف يكون لها طاقة حرة زيادة عن هذا وبالتالي سوف يعجّل معدل التفاعل، هذا الوضع موضح في شكل 3.7.



شكل 3.7 آلية التحفيز الإنزيمي

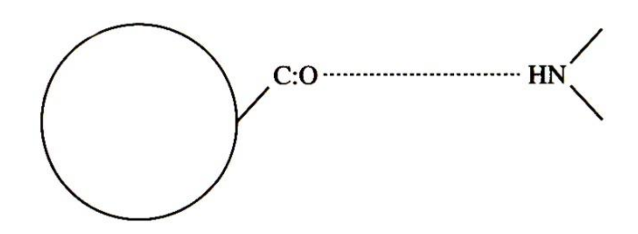
تتكون المركبات بين مادة أو مواد التفاعل وبين قليل من المراكز النشطة نسبياً على الإنزيم ربما يكوّن الارتباط أيونيا ويمثل بواسطة:

COO^{-} $^{+}H_3N.R$

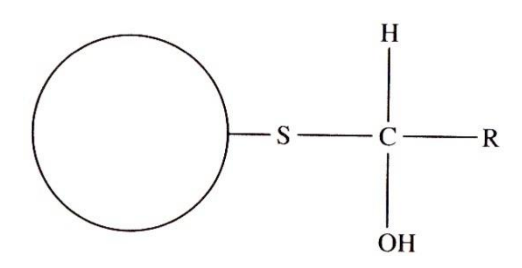
E

COO^{-} $^{+}H_3N.R$

أو بواسطة روابط هيدروجينية :



أو بواسطة ارتباط تساهمي يمثل عن طريق مجموعات " Sulphydryl " على الإنزيم :



و تنشأ هذه نتيجة قوى جاذبة غير مخصصة بين الذرات عندما تكون المسافة بينها من 3 إلى 4 انجستروم (Å)، وهي اضعف من الروابط الأيونية أو الهيدروجينية ولكنها ربما تكون مهمة جداً لان عدداً أكبر قد يتكون عندما تكون الظروف ملائمة.

إن تصور آلية تحفيز الإنزيم مبينة بمقترح التحليل المحفز بالكيموتريبسين لرابط استريه كما هو موضح في شكل 4.7، وفي هذا المثال تكون المواقع النشطة من الإنزيم مجموعة كحول في السيرين Serine ونيتروجين إميدازول في الهستيدين Imidazole nitrogen of histidine.

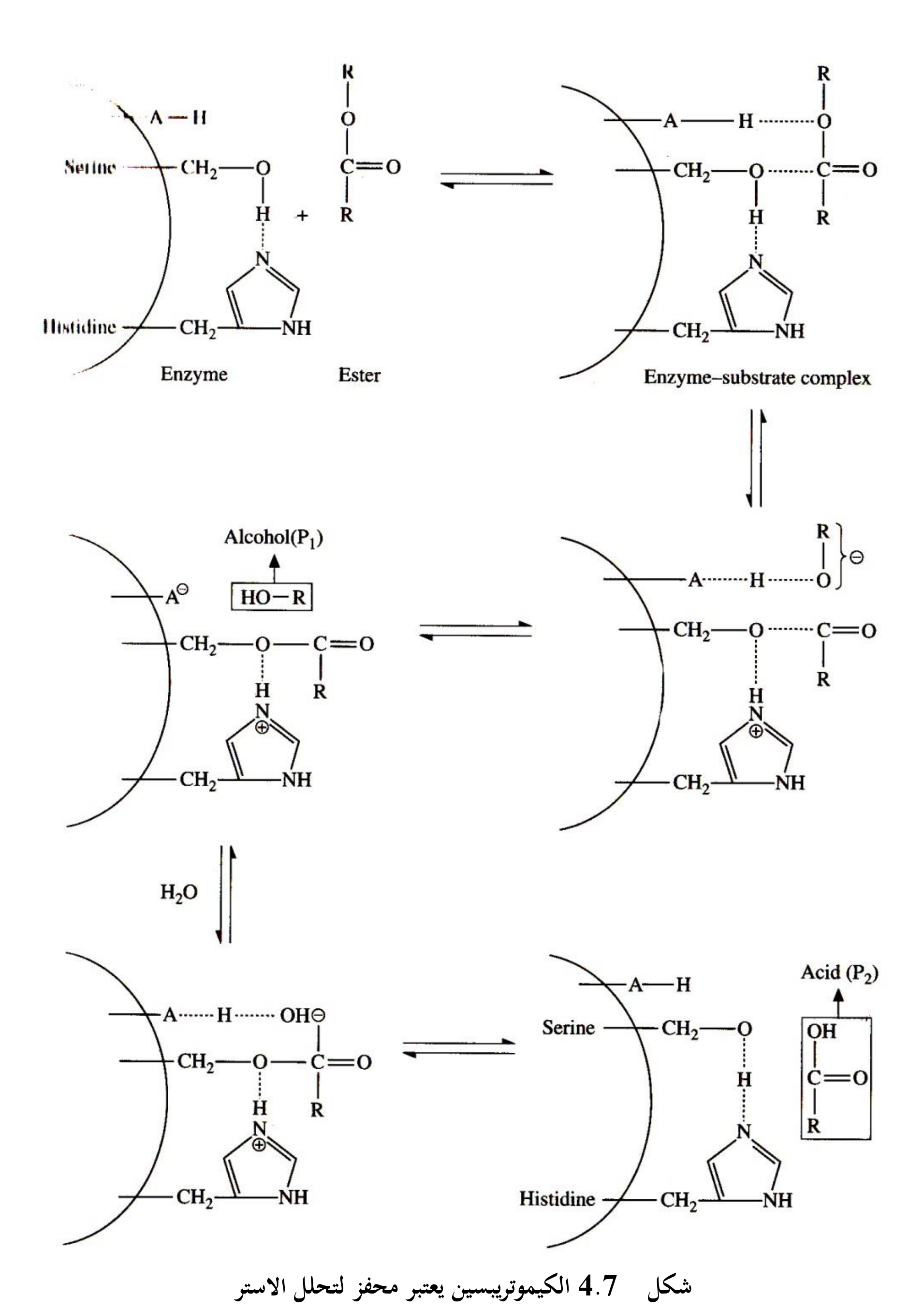
إن لمركب الإنزيم ومادة التفاعل طاقة تنشيط منخفضة ولهذا تحدث زيادة في معدل التفاعل. كيفية حدوث هذا الانخفاض غير واضحة، وهناك اقتراح بأن وضع المواقع النشطة للإنزيم تؤدي إلى تحور جزي مادة التفاعل. ولهذا توضع روابط معينة تحت الإجهاد وتتفكك بسهولة. وتكون المواقع النشطة دائماً صغيرة نسبة إلى حجم جزي الأنزيم وتكون ثلاثية الأبعاد، وعادة ما تكون متشققة (مصدعة) ولها أشكال معينة والتي يجب أن تتطابق مع أجزاء مادة التفاعل والتي تتلاءم مع الموقع النشط.

الطبيعة الخاصة للإنزيمات Specific nature of enzymes

لقد ذكر بأن خصوصية الأنزيم محددة لو اقتصر تأثيره على مادة تفاعل واحدة فقط. مثال ذلك أنزيم اليورييز Urease الذي يحفز تفكك اليوريا فقط إلى أمونيا وثاني أوكسيد الكربون .

$$NH_2C(:O)NH_2 + H_2O \longrightarrow 2NH_3 + CO_2$$

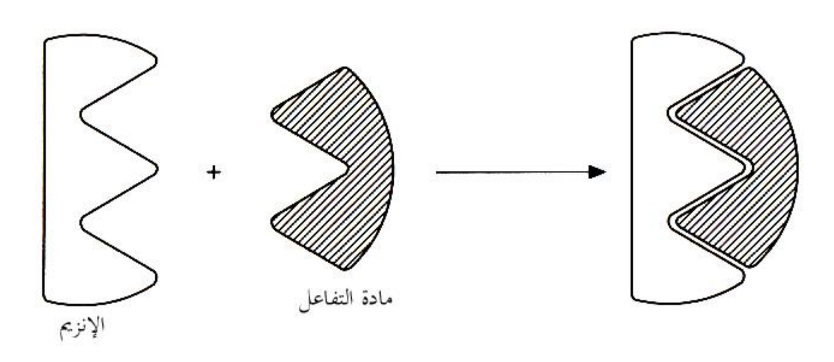
يكون الإنزيم في معظم الحالات قادراً على التفاعل مع أكثر من مجموعة واحدة من مواد التفاعل " Substrates "، و يقال في تلك الحالات بأن الخصوصية له نسبية. إن المجموعة الخصوصية هذه ربما توجد في ترتيب ضعيف كما هو الحال في الإنزيمات الهضمية التريبسين والبيبسين التي تحفز فك الروابط البيتيدية، وفي حالات أخرى ربما تكون عالية كثيراً.



شكل 4.7 الكيموتريبسين يعتبر محفز لتحلل الاستر

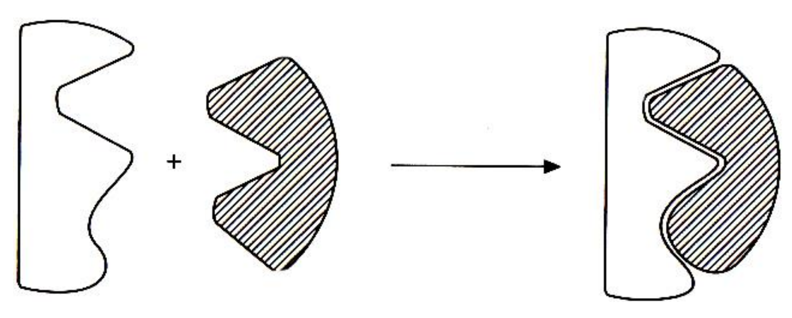
(After Westheimer , FH 1962, In Advances in Enzymology, 24, 464)

على سبيل المثال يحفز الكيموتريبسين تحليل روابط ببتيدية التي تكون فيها مجموعة الكربوكسيل الباقية مشتقة فقط من أحماض أمينية عطرية. وقد تنشأ الخصوصية من الحاجة إلى اقتران مكاني spatial للمجموعات النشطة من مادة التفاعل مع المراكز النشطة من الإنزيم بالإضافة إلى أن التطابق الجزئي " Molecular geometry " لكل من الإنزيم ومادة التفاعل يجب أن يجعلا المجموعات المتفاعلة تتقابل مع بعضها بتلاؤم دقيق، وهذا ما يعرف بنموذج القفل والمفتاح في التفاعل بين الإنزيم ومادة التفاعل وهو موضح في شكل 5.7.



شكل 5.7 نموذج القفل والمفتاح لمركب الإنزيم ومادة التفاعل

إن أي تغير طفيف في المجموعات غير المتفاعلة لأي من الإنزيم أو مادة التفاعل ربما يكون كافياً لإعاقة أو منع الملاءمة ويفقد بذلك الأثر التحفيزي للإنزيم، وفي بعض الأحيان تكوين الإنزيم ربما لا يكون ذا خصوصية مطلقة ولكنه يتغير استجابة لوجود مادة التفاعل والتي تسمح بتكون مركب مادة التفاعل والإنزيم وهذه عادة ما يشار إليها بنموذج حث الملاءمة " The induced fit model " موضح في شكل6.7.



شكل 6.7 نموذج حث الملاءمة لتكوين مركب التفاعل والإنزيم

وفي حالات أخرى عندما تدخل أكثر من مادة تفاعل واحدة ربما لا يتم إتحاد مادة تفاعل 2 مع الإنزيم إلا إذا اتحدت مادة تفاعل مع الإنزيم.

العوامل المؤثرة في نشاط الإنزيم Factors affecting enzyme activity

تركيز مادة التفاعل Substrate Concentration

عندما يكون هناك نظام فيه زيادة في الإنزيم ويظل التركيز ثابتاً فمع زيادة تركيز مادة التفاعل تزداد سرعة التفاعل، ويكون هذا نتيجة زيادة في استخدام المراكز النشطة المتاحة في الإنزيم، و إذا تواصلت زيادة تركيز مادة التفاعل فإن استعمال المراكز النشطة المتاحة يصبح في أعلى مستوى وعندها سوف لا تكون هناك زيادة إضافية في معدل التفاعل. وفي الحقيقة، فإن استمرار ارتفاع تركيز مادة التفاعل ربما يؤدي إلى انخفاض معدل التفاعل بسبب الارتباط غير التام للإنزيم ومادة التفاعل والناتج من التنافس على المراكز النشطة بواسطة زيادة جزيئات مادة التفاعل. و كثيراً ما يتم تمثيل تأثير تركيز مادة التفاعل بمصطلح ثابت (Michaelis – Menten constant , K_m)، وهو التركيز المولي لمادة التفاعل التي

تكون عندها نصف المراكز النشطة في الأنزيم مشغولة بمادة التفاعل ويكون معدل التفاعل نصف الحد الأقصى. أعلى من K_m يكون تأثيرات زيادة تركيز مادة التفاعل على معدل التفاعل متناقصة كلما اقترب الحد الأعلى، وعند تركيز مادة التفاعل اقل من K_m فان زيادة التركيز سوف تعطي استجابات كبيرة فيما يتعلق بمعدل التفاعل.

عندما تكون التركيزات الفسيولوجية لمادة التفاعل أعلى بكثير من K_m للأنزيم، فإن تركيز مادة التفاعل من المحتمل أن تكون عامل تحكم في مسار الأيض. عدة أنزيمات لها قيم K_m تقارب تركيزاتها الفسيولوجية، و سينتج عن التغيرات في الأخير تغيرات معنوية في معدل التفاعل وهو مهم في تنظيم الأيض.

تركيز الأنزيم **Enzyme Concentration**

في النظام الذي توجد فيه زيادة في مادة التفاعل فإن زيادة تركيز الأنزيم تعطي استجابة في شكل خط مستقيم في سرعة التفاعل بسبب توفر مراكز نشطة إضافية لتكوين مركبات الأنزيم ومادة التفاعل، إما الزيادة الإضافية في تركيز الأنزيم ربما ينتج عنها بعض من العامل المحدد مثل تيسر قرين الأنزيم الذي يصبح فعَّالاً، وقلما يحدث تشبع الأنزيمات بمادة التفاعل في الظروف الفسيولوجية.

المثبطات **Inhibitors**

قد يثبط الأثر المحفز للإنزيمات بواسطة مواد تمنع تكوين مركب الأنزيم ومادة التفاعل بشكل طبيعي وربما تكون تلك المثبطات من نوعين رئيسيين، تنافسية وغير تنافسية.

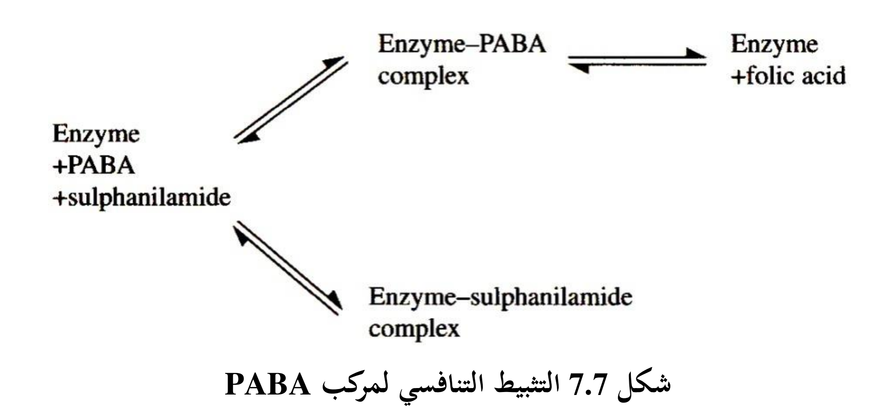
ويشابه المثبط التنافسي مادة التفاعل في تركيبها الكيميائي وهو قادر بأن يتحد مع الإنزيم لتكوين مركب الإنزيم والمثبط، وبفعلها هذا تتنافس مع مواد التفاعل على المواقع النشطة في الإنزيم ويمنع تكوين مركب الإنزيم ومادة التفاعل. و يتّضح أحد الأمثلة المعروفة جيداً عن طريق عقاقير " Sulphonamide "، فعند التحكم في البكتيريا بواسطة هذه العقاقير فإن العملية الحيوية هي تصنيع حمض الفوليك Folic acid من (PABA ; para – aminobenzoic acid) والتشابه بين PABA ومركب Sulphanilamide المتحرر من Sulphonamide تكون واضحة:



Para-aminobenzoic acid   Sulphanilamide

يعمل Sulphanilamide على تكوين مركب مع الإنزيم المناسب، لذلك يمنع الارتباط الطبيعي للإنزيم ومادة التفاعل وتكوين حمض الفوليك، كما أن إضافة زيادة من

PABA تمنع الأثر المثبط نظراً لأن تكوين مركب الإنزيم مع Sulphanilamide عملية منعكسة. ويمكن تصور الوضع كما هو موضح في شكل 7.7.



شكل 7.7 التثبيط التنافسي لمركب PABA

إن مدى التثبيط سوف يعتمد على التركيز النسبي لمادة التفاعل الحقيقية والمثبط.

و لا يشبه المثبط غير التنافسي مادة التفاعل في تركيبه الكيميائي ولا يتنافس معه على المواقع النشطة من الإنزيم. من ناحية أخرى، فإنه يتحد مع الأنزيم عند مواقع أخرى على السطح لتكوين مركب الأنزيم والمثبط، وحيث أن هذه المركبات لها مواقع نشطة متاحة فإنها قادرة على التفاعل مع مادة التفاعل لتعطي مركبات الأنزيم ومادة التفاعل وهذه تتفكك لتنتج أنزيماً مثبطاً وناتجاً "product"، ولكن معدل التفاعل يكون أدنى من مستوى المسار المعتاد. مثبط من هذا النوع يعرف بالتثبيط غير التنافسي المنعكس Reversible non – competitive inhibition كتمييز له عن غير التنافسي المنعكس، المتمثل بواسطة عدد من سموم الأنزيمات مثل Acetoacetamide، عوامل أكسدة معينة وسموم العصب الفوسفورية

العضوية (Organophosphorus nerve poisons). ويعمل الأخير على وقف نشاط أنزيم (Acetylcholinesterase)، ذا الأهمية في نقل النبضات العصبية وهذه السموم من المبيدات الحشرية الفعالة. ويعتمد تثبيط النشاط على تفاعل مركب الفوسفور العضوي مع بقية السيرين serine في Acetylcholinesterase كما هو موضح:

$$
\begin{array}{c} | \\ C{:}O \\ | \\ CH.CH_2OH \\ | \\ NH \\ | \end{array}
+
\begin{array}{c} CH.(CH_3)_2 \\ | \\ O \\ | \\ F.P{:}O \\ | \\ O \\ | \\ CH.(CH_3)_2 \end{array}
\longrightarrow
\begin{array}{c} | \quad\quad\quad CH.(CH_3)_2 \\ | \quad\quad\quad\quad | \\ C{:}O \quad\quad\quad O \\ | \quad\quad\quad\quad | \\ CH.CH_2.O.P{:}O \\ | \quad\quad\quad\quad | \\ NH \quad\quad\quad O \\ | \quad\quad\quad\quad | \\ \quad\quad\quad CH(CH_3)_2 \end{array}
+ HF
$$

Enzyme | Diisopropyl phosphofluoridate | Inactive enzyme–inhibitor complex

درجة الحرارة **Temperature**

عند مدى محدد من درجة الحرارة، تزداد كفاءة التفاعلات المحفزة بالأنزيم بواسطة رفع درجة الحرارة، وعلى وجه التقريب تتضاعف سرعة التفاعل لكل زيادة مقدارها 10° مئوية وتنخفض إلى النصف لكل نقص مقداره 10° م. كلما ارتفعت درجة الحرارة فإن عاملاً معقداً يبدأ في التأثير بسبب بداية تغير طبيعة الأنزيم البروتيني

(denaturation)، وهذه عبارة عن إعادة ترتيب جزيئي والتي تسبب فقد مراكز نشطة في سطح الأنزيم وتناقص في الكفاءة. ويصبح تلف الإنزيم عند درجة حرارة أعلى من 50° م سريعاً وتتكسّر معظم الإنزيمات عندما تسخّن إلى 100° م. ويتأثر مدى فقد الكفاءة بالفترة الزمنية التي يتعرض فيها الإنزيم للحرارة. وكل أنزيم له درجة حرارة مثلي وهي تقارب لما هو في الخلايا التي تتواجد فيها، وعندها تكون أكثر فعالية. لذلك فالإنزيمات الموجودة في كائنات حية دقيقة تأقلمت على ظروف البرد تكون قادرة على العمل بكفاءة عند درجات حرارة على مقربة من الصفر، والأنزيمات الموجودة في كائنات أخرى تأقلمت على المعيشة في العيون الحارة لها درجات مُثلى في نطاق 100^{0} مئوية.

الحامضية Acidity

إنّ لتركيز أيونات الهيدروجين تأثيراً هاماً على كفاءة عمل الأنزيم. كما تكون أنزيمات عديدة أكثر تأثيرا في مدى pH من 6 إلى 7، وهو الخاص بالخلية، أنزيمات خلوية خارجية قد تظهر الحد الأعلى من النشاط في مدى pH من الحمضي أو القلوي ولكن المدى الفعلي الذي يعمل بداخله الأنزيم يكون حوالي 2.5 إلى 3.0 وحدات فقط كما يكون هناك خارج هذا المدى انخفاض سريع جداً في النشاط. ويتم الانخفاض في الكفاءة بواسطة تغير في pH وذلك نتيجة تغيرات في درجة تأين مادة التفاعل والأنزيم. حينما يكون الترابط بين المراكز النشطة الكتروستاتيك " Electrostatic " فإنه من السهولة التي تكوين معقد المركب الوسطي وبالتالي تتأثر كفاءة عمل الأنزيم و بالإضافة إلى ذلك فإن الظروف الحامضية أو القلوية العالية تؤدي إلى تمسخ وفيما بعد فقد في نشاط الأنزيم.

تسمية الأنزيمات Nomenclature of enzymes

سميت بعض الأنزيمات في الماضي عند دراسة الأنزيم ولها تسميات لا نظامية مثل الأنزيمات الهضمية بيبسين، تريبسين وبتايالين ptyalin. في عام 1972 أوصى الاتحاد الدولي للكيمياء النظرية والتطبيقية (International Union of Pure and Applied Chemistry,IUPAC والاتحاد الدولي للكيمياء الحيوية International Union of Biochemistry (IUB) باستعمال نظامين للتسمية أحدها ترتيبي والثاني عملي أو موصى به. وليس بالضرورة أنّ الاسم المنصوح به مرتباً جداً ولكنه بصورة مبسطة يكفي للاستعمال التقليدي. وتكونت التسمية النظامية تبعاً لقواعد محددة وكانت لتوضح عمل الأنزيم بدقة وبقدر المستطاع، لذلك تعرّفها بدقة. أنها كانت من جزئين، الأول يسمى مادة أو مواد التفاعل والثاني عبارة عن لاحقة (ase–) تشير إلى نوع التفاعل المحفز. بالإضافة إلى تخصيص شفرات للإنزيمات تبعاً للمخطط التالي:

(i) الرقم الأول يوضح إلى أي من الأصناف الستة ينتمي الأنزيم.

(ii) الرقم الثاني يوضح تحت الصنف.

(iii) الرقم الثالث يوضح تحت الصنف.

(iv) الرقم الرابع يعرّف الأنزيم.

فيما يلي أمثلة من النظام:

رقم الشفرة	الاسم النظامي	الاسم الموصى به	التفاعل
1.1.1.27	**L–lactate: NAD^+ Oxidoreductase**	**Lactate dehydrogenase**	**L–Lactate + NAD → pyruvate + NADH + H**

3.2.1.20	α-D–Glucoside Glucohydrolase	α - Glucosidas	Hydrolysis of terminal non–reducing 1,4 – linked α -D– glucose residues with release of α -glucose, eg. Maltose to glucose
4.1.1.15	L – Glutamate - Carboxylase1	Glutamate decarboxylase	L – Glutamate → – aminobutyrate +$CO_2$4

مراجع الفصل السابع

1. Enzyme Nomenclature 1973 *Recommendations (1972) of the International Union of Pure and Applied Chemistry and the International Union of Biochemistry*. New York, American Elsevier.
2. Murray R K, Granner D K, Mayes P A and Rodwell V W 1993 *Harper`s Biochemistry* 23rd edn, USA, Appleton & Lange.
3. Mathews C K and Van Holde K E 1990 *Biochemistry*, 1st edn. Redwood City, CA, Benjamin Cummings Publishing Co.
4. Stryer L 1988 *Biochemistry,* 3rd edn. San Francisco, W H. Freeman.

الفصل الثامن

الهضم

الهضم

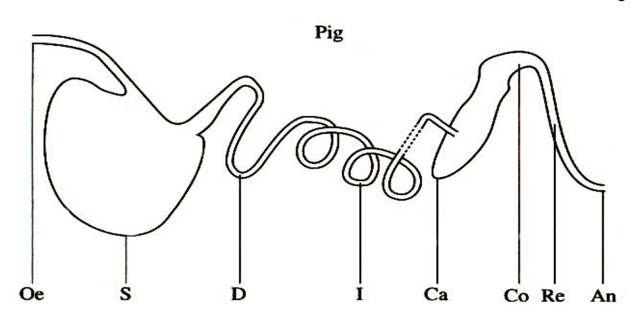
Digestion

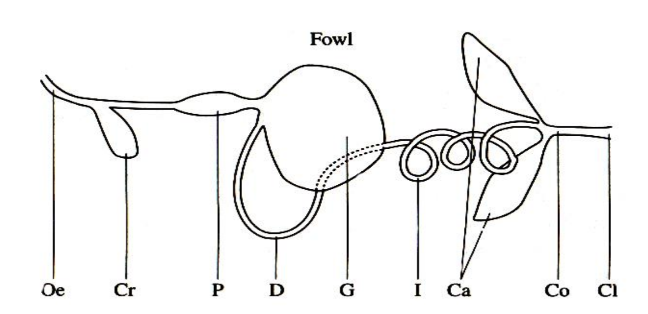
تكون كثير من مركبات الغذاء العضوية في صورة جزيئات كبيرة غير قابلة للإذابة والتي يتعين تحللها إلى مركبات أبسط منها قبل أن تتمكن من المرور خلال الأغشية المخاطية ومنها إلى الدم و اللّيمف. وتسمى عملية التحليل هذه بالهضم، وتسمى عملية مرور العناصر الغذائية المهضومة خلال الأغشية المخاطية بالامتصاص. وقد تصنف العمليات المهمة في الهضم إلى ميكانيكية، وكيميائية وميكروبية، فالنشاطات الميكانيكية هي المضغ والانقباضات العضلية في القناة الهضمية. ويحدث الفعل الكيميائي الأساسي عن طريق الإنزيمات التي تفرز بواسطة الحيوان في مختلف العصارات الهاضمة بالرغم من إمكانية وجود إنزيمات نباتية في الأغذية غير المعاملة قد تلعب دوراً ضئيلاً في هضم الغذاء في بعض الحالات. الهضم الميكروبي وهو إنزيمي أيضا ويحدث بواسطة فعل البكتيريا والبروتوزوا والفطريات والكائنات الحية الدقيقة التي لها تأثير معنوي في الهضم عند المجترات ruminant. ويحدث النشاط الميكروبي في الحيوانات ذات المعدة البسيطة أساساً في الأمعاء الغليظة، بالرغم من أن هناك مستوىً منخفضاً من نشاطه في حوصلة الطيور وفي معدة الخنزير وأمعائه البسيطة.

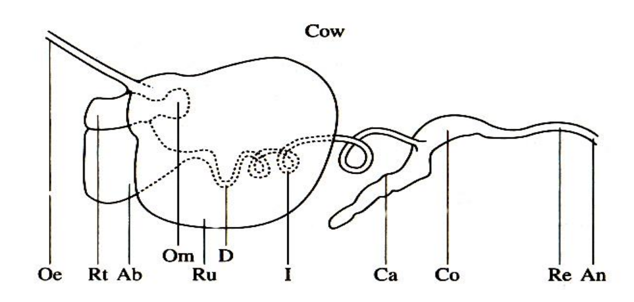
الهضم في الثدييات وحيدة المعدة Digestim in Monogastric Mammals

القناة الهضمية The alimentary canal

يوضح شكل 1.8 الأجزاء المختلفة للقناة الهضمية في الخنزير، والذي سيستخدم كحيوان مرجعي. ويمكن اعتبار أن القناة الهضمية عبارة عن أنبوبة تمتد من الفم إلى فتحة الشرج، مبطنة بغشاء مخاطي، وظيفته قضم وتناول وتفتيت وهضم وامتصاص الغذاء والتخلص من فضلات المواد الصلبة. والأجزاء المختلفة هي الفم، المريء، البلعوم، المعدة والأمعاء الدقيقة والغليظة.







شكل 1.8 تمثيل تخطيطي للقنوات الهضمية في حيوانات زراعية مختلفة.

An = فتحة الشرج **Ab** = المعدة الحقيقية **Ca** = الاعور **Cl** = مذرق
CO = القولون **Cr** = الحوصلة **D** = ألاثني عشر **G** = القانصة
I = اللفائفي **O** = المريء **Om** = الورقية **P** = المعدة الغدية
Re = المستقيم **Rt** = الشبكية **Ru** = الكرش **S**= المعدة

تنتج حركة محتويات الأمعاء خلال الجهاز الهضمي بواسطة موجات دورية وهي انقباضات في العضلات الطولية لجدار الأمعاء، وتقع هذه الانقباضات اللاإرادية كلياً تحت التحكم العصبي الذاتي. إن الشبكة العصبية بداخل طبقات نسيج جدار القناة الهضمية تكمّل نشاط العضلات. ويمكن تمييز عدة أنواع مختلفة من حركة جدار الأمعاء، والتي تتلخص وظائفها في نقل المواد خلال القناة الهضمية، خلط العصارات الهاضمة بالغذاء وجعل العناصر الغذائية في اتصال مباشر بالغشاء المخاطي المعوي لتكملة الامتصاص. إن الأمعاء الدقيقة والتي تشمل الإثنى عشر "duodenum" ، المعي الأوسط " الصائم Jejunum" والمعي السفلي " ileum " هي المكان الرئيسي للامتصاص، حيث تحتوي مجموعة من النتوءات الشبيهة بالأصابع " الخملات Villi " والتي تؤدي إلى زيادة مساحة السطح المتيسرة لامتصاص العناصر الغذائية. وتحتوي كل خملة على شرايين، ووريد متجمعة مع أنبوبة تصريف إلى الجهاز الليمفاوي أو مربض " Lacteal " وتصب الأوردة الصغيرة في النهاية بالوريد الكبدي البابي و تصب المرابض في القناة الليمفاوية الصدرية. ويغطى الجانب التجويفي لكل خملة (Villus) بنتوءات، الخملات المجهرية يشار إليها brush border. وهناك العديد من الإفرازات التي تتدفق خلال القناة الهضمية ويحتوي الكثير منها إنزيمات تؤدي إلى تحلل مختلف مكونات الغذاء (انظر جدول 1.8)، وتكون بعض من الإنزيمات

المحللة للبروتينات الموجودة في هذه الإفرازات في صورة طلائع غير نشطة تسمى زايموجينات Zymogens يتم تنشيطها بعد إفرازها في القناة.

الهضم في الفم Digestion In The Mouth

يكون إلى حد كبير ميكانيكيا، ويساعد المضغ على هدم الأجزاء الكبيرة من الغذاء وخلطها باللعاب الذي يعمل كمرطب Lubricant ووسط لحاسة التذوق، وتستخدم القواطع السفلى لانتزاع الغذاء والقواطع الداخلية المقوسة في قضم وطحن مواد الغذاء وتعمل الأضراس وقبل الطواحين على طحن الغذاء. يوجد عند الخنزير براعم تذوق على طول التجويف الفمي وتتركز في اللسان. ويفرز اللعاب في الفم بواسطة ثلاثة أزواج من الغدد اللعابية: النكفية وهي تقع أمام كل أُذن؛ تحت الفك السفلي، تقع على كل جانب من الفك السفلي؛ غدد تحت اللسان "Sublingual" والتي توجد أسفل اللسان.

جدول 1.8 الإنزيمات الهاضمة الرئيسية

Recommended name	Trivial name	Systematic name	Number	Source	Substrate
A. Enzymes hydrolysing peptide links					
Pepsin	—	—	3.4.23	Gastric mucosa	Proteins and peptides
Chymosin	Rennin	—	3.4.23.4	Gastric mucosa (young calves)	Proteins and peptides
Trypsin	—	—	3.4.21.4	Pancreas	Proteins and peptides
Chymotrypsin	—	—	3.4.21.1	Pancreas	Proteins and peptides
Carboxypeptidase A	Carboxypeptidase	Peptidyl-L-amino-acid hydrolase	3.4.12.2	Small intestine	Peptides
Carboxypeptidase B	Protaminase	Peptidyl-L-lysine (-L-arginine) hydrolase	3.4.12.3	Small intestine	Peptides
Aminopeptidases	—	α-Aminoacyl-peptide hydrolases	3.4.11	Small intestine	Peptides
Dipeptidases	—	Dipeptide hydrolases	3.4.13	Small intestine	Dipeptides
B. Enzymes hydrolysing glycoside links					
α-Amylase	Diastase	1,4-α-D-Glucan glucanohydrolase	3.2.1.1	Saliva, pancreas	Starch, glycogen, dextrin
α-Glucosidase	Maltase	α-D-Glucoside glucohydrolase	3.2.1.20	Small intestine	Maltose
Oligo-1,6-glucosidase	Isomaltase	Dextrin 6-α-glucanohydrolase	3.2.1.10	Small intestine	Dextrins
β-Galactosidase	Lactase	β-D-Galactoside galactohydrolase	3.2.1.23	Small intestine	Lactose
β-Frutofuranosidase	Sucrase	β-D-Fructofuranoside fructohydrolase	3.2.1.26	Small intestine	Sucrose
C. Enzymes acting on ester links					
Triacylglycerol lipase	Lipase	Triacylglycerol acylhydrolase	3.1.1.3	Pancreas	Triacylglycerols
Cholesterol esterase	—	Sterol-ester hydrolase	3.1.1.13	Pancreas and small intestine	Cholesterol esters
Phospholipase A_2	Lecithinase A	Phosphatide 2-acyl-hydrolase	3.1.1.4	Pancreas and small intestine	Lecithins and cephalins
Lysophospholipase	Lysolecithinase	Lysolecithin acyl-hydrolase	3.1.1.5	Small intestine	Lysolecithin
Deoxyribonuclease	DNase	Dexoyribonucleate 5′-oligonucleotidohydrolase	3.1.4.5	Pancreas and small intestine	DNA
Ribonuclease 1	RNase	Ribonucleate 3′-pyrimidino-oligonucleotidohydrolase	3.1.4.22	Pancreas and small intestine	RNA
Nucleosidase	—	*N*-Ribosyl-purine ribohydrolase	3.2.2.1	Small intestine	Nucleosides
Phosphatases	—	—	3.1.3	Small intestine	Orthophosphoric acid esters

يحتوي اللعاب حوالي 99 % ماء، والباقي (1 %) ويتكون من ميوسين (مخاطين)، أملاح غير عضوية، إنزيمات α – اميليز، مجموعة اللايسوزايم " Lysozyme"، فبينما يكون α – أميليز اللعاب أكثر في بعض الأجناس مثل الإنسان فإنه في البعض الأخر مثل الخيول، القطط، الكلاب يفتقد هذا النشاط. يوجد الإنزيم في لعاب الخنازير ولكنه أقل نشاطاً ومن غير المؤكد حدوث هضم كافٍ في الفم لأن الغذاء يتم بلعه بسرعة ويمر مع المريء إلى المعدة حيث درجة تركيز أيونات الهيدروجين " pH " غير ملائمة لنشاط إنزيم α – أميليز، ومع ذلك من المحتمل أن هناك بعض الهضم للنشا في المعدة بهذا الإنزيم لأن المادة الغذائية لم تخلط مباشرة بالعصارة المعدية. وتكون درجة تركيز أيونات الهيدروجين " pH " للعاب الخنازير حوالي 3 .7 وهي أكثر قليلاً من القيمة التي تعتبر مثالية لنشاط إنزيم α – أميليز. يساهم هذا الإنزيم في التحلل المائي " hydrolyses " لروابط α – (1 – 4) جلوكان في السكريات المتعددة التي تحتوي ثلاثة أو أكثر من وحدات الجلوكوز المرتبطة برابطة α – (1 – 4)، ولهذا فإن الإنزيم يؤثر في النشا، الجلابكوجين والسكريدات العديدة والقليلة (Oligosaccharides) ذات العلاقة. عندما يتأثر الاميلوز والذي يحتوي على وجه التحديد روابط جلايكوسيدية (α 1 – 4) بهذا الإنزيم فإن الانقسامات العشوائية لهذه الروابط تعطي مخلوطاً من الجلوكوز والمالتوز، ومن ناحية أخرى فإن الاميلوبكتين يحتوي على عدد من الروابط الجلايكوسيدية المتفرعة α – (1 – 6) بالإضافة إلى الروابط الجلايكوسيدية α – (1 – 4). وهذه الروابط لا تتأثر بإنزيم α – أميليز وتشتمل النواتج على مخلوط من السكريدات القليلة المتفرعة وغير المتفرعة، يطلق عليها الديكسترين المحدد

والذي تكون به α – (1 – 6) بكميات كبيرة. اكتُشِف إنزيم لايسوزايم " Lysozyme " في العديد من أنسجة وسوائل الجسم ويستطيع هذا الإنزيم تحليل روابط β – (1 – 4) -N acetyl – glucosaminidic، لوحدة السكريدات الثنائية المتكررة المكون للسكريدات المتعددة لجدار خلايا العديد من أجناس البكتيريا، فيقتلها ويقضي عليها.

الهضم في المعدة Digestion In The Stomach

معدة الخنزير الناضج لها سعة حوالي 8 لترات، وتتكون من حجرة بسيطة وظائفها ليست كعضو هضم فقط ولكن للتخزين أيضاً، وبالنظر إليها من الخارج يمكن ملاحظة أن المعدة مقسمة إلى البابية (المدخل Cardia) والجوف (Fundus) البواب (النهايةPylorus)، ويكون كل من المدخل والبواب أماكن التحكم في مرور الغذاء خلال المعدة. ويزداد السطح الداخلي للمعدة بالتفاف النسيج المبطن للغشاء الداخلي (Epithelium الظِّهارة) وله أربع مناطق مميزة، منطقة المريء وهي امتداد المريء إلى المعدة وسطحه ليس به غدد وهنا قد يستمر نشاط α – أميليز وتوجد عشيرة ميكروبية نشطة معظمها أساساً من Lactobacilli و Streptococci. تغطي منطقة المدخل " Cardiac " حوالي ثلث (3 /1) السطح وتفرز مخاطاً لزجاً قاعدياً وخالياً من الإنزيمات مكوناً شكل جلايكوبروتين هلامي يقي النسيج المبطن للغشاء الداخلي (الظِّهارة epithelium) من أثر الحمض. وتغطى منطقة الغدد المعدية الثلث الإضافي من السطح وتفرز جلايكوبروتين و fucolipid مخاطي يحتوي oxyntic cells التي تفرز حمض

الهيدروكلوريك، بالإضافة إلى أن هذه المنطقة تفرز بيبسينوجين. المنطقة الرابعة وهي المنطقة البوابية وهي قبل المدخل المؤدي إلى الأمعاء الدقيقة، وهي مثلها مثل منطقة المدخل فإن لدي هذه المنطقة غدداً تفرز مخاطاً واقياً، وهكذا فإن العصارة المعدية تتكون من ماء، بيبسينوجين، أملاح غير عضوية، مادة مخاطية، حمض الهيدروكلوريك والعامل الذاتي " intrinsic factor " الهام لكفاءة امتصاص فيتامين B_{12}. وهناك عدد من العوامل تؤخذ بعين الاعتبار في تحفيز الغدد على إفراز العصارة المعدية. مبدئياً الطور الرأسي Cephalic phase وهي منبهات مثل النظر إلى الطعام وكذلك الشم و تعمل هذه عن طريق العصب المبهم " Vagus nerve "، ثم الطور المعدي gastric phase وفيه يحافظ على الإفراز بواسطة المنبهات الكيميائية وامتلاء المعدة. وأخيراً فإن وجود المواد المهضومة digesta في الإثنى عشر يسبب الإفراز بواسطة الرسائل العصبية والهرمونية. ومن النادر أن تكون معدة الخنزير فارغة تماماً بين الوجبات، وان ظروف الخلط البطيء توصل إلى التخمر الميكروبي عند نهاية المريء والهضم المعدي عند النهاية البوابية. البيبسينوجينات pepsinogens هي الصور غير النشطة من البيبسينات " pepsins " التي تحلل البروتينات. ويختلف تركيز الحمض في العصارة المعدية بسبب الغذاء ولكنه يكون عموماً حوالي 0.1 M، وهو كافٍ لخفض درجة تركيز ايونات الهيدروجين " pH " إلى2.0 ويقوم الحمض بتنشيط البيبسينوجينات وتحويلها إلى بيبسينات وذلك بإزالة البيبتيدات ذوات الأوزان الجزئية المنخفضة من كل جزي تمهيدي. تم إيجاد أربعة من البيبسينات في الخنزير، ولها نشاط مثالي عند مستويين مختلفين من تركيز ايونات الهيدروجين 2.0 و3.5 تهاجم البيبسينات وتفضل الروابط الببتيدية المجاورة

للأحماض الأمينية العطرية، مثل فينايل الأنين، تريبتوفان وتايروسين، ولكن لها تأثير واضح على الروابط المتضمنة حمض الجلوتاميك والسيستائين، وللبيبسينات أيضا أثر قوي في تخثر اللبن. الرينين أو الكايموسين وهو إنزيم يوجد في العصارة المعدية للعجول والخنازير الصغيرة، ويشابه البيبسينات في نشاطه. وتكون نواتج هضم البروتين في المعدة ببتيدات متعددة في معظمها وذات سلاسل بأطوال مختلفة والقليل من الأحماض الأمينية. ويتم التحكم في تفريغ محتويات المعدة إلى الإثنى عشر بواسطة منبهات تنافذية (osmotic) في الإثنى عشر، إضافة إلى ذلك فإن وجود زيادة في الدهن يقلل معدل التفريغ.

يكون النسيج المبطن للغشاء الداخلي(Epithelium الظِّهارة) في معدة الخنزير حساساً للتقرحات المتعلقة بدرجة المعاملات على الحبوب في الغذاء.

الهضم في الأمعاء الدقيقة Digestion In Small Intestine

يترك جزء الغذاء المهضوم جزئياً المعدة ويدخل الأمعاء الدقيقة حيث يختلط بإفرازات الإثنى عشر والكبد والبنكرياس. ويحدث معظم الهضم والامتصاص في الأمعاء الدقيقة، حيث تكون منطقة الإثنى عشر هي مكان خلط الغذاء شبه المهضوم بالعصارات وتكون منطقة الصائم مكان الامتصاص. وتنتج غدد برونر "Brunner" في الإثنى عشر إفرازاً قلوياً يدخل الإثنى عشر خلال قنوات كائنة في الحلمات " Villi "، ويعمل هذا الإفراز كمزيت ويقوم أيضاً بحماية جدار الإثنى عشر من حمض الهيدروكلوريك الداخل من المعدة. تُفرز العصارة الصفراوية " Bile " بواسطة الكبد وتمر إلى الإثنى عشر خلال قناة الصفراء وتحتوي

على أملاح صوديوم و بوتاسيوم وأحماض الصفراء معظمها جلاكوليك (glycholic) و تاوروكوليك (Taurocholic) ليبيدات فوسفورية، صبغات الصفراء (bilirubin , biliverdin)، وهي نواتج نهائية لتكسر الهيم (haem)، الكوليسترول والميوسين (المخاطين). باستثناء الخيول، فإن الصفراء تخزن في كيس المرارة إلى حين الحاجة. وتمثل أملاح الصفراء جزءً مهماً في الهضم عن طريق تنشيط ليبيز البنكرياس واستحلاب الدهون، ويكون الاحتياج اليومي على أحماض الصفراء أكثر من القدرة التصنيعية للكبد ودورة الدم في الكبد والأمعاء للمحافظة على المصدر.

البنكرياس غدة تقع في عروة الإثنى عشر وله وظيفتان إفرازيتان عملية باطنية الإفراز(صماء) لإنتاج الأنسولين وعملية خارجية الإفراز لإنتاج الأنزيمات الهاضمة (من خلايا في كييسات عنقودية)، الماء والالكتروليتات (من خلايا قنوية " أنبوبية ")، وتكوّن مع بعضها العصارة البنكرياسية التي تفرز إلى الإثنى عشر عن طريق القناة البنكرياسية وتتغير نسب الأنزيمات المختلفة استجابة لطبيعة الغذاء.

وهناك عدد من العوامل تحفّز البنكرياس ليفرز عصارته إلى الإثنى عشر. وينطلق هرمون السيكريتين (secretin) من النسيج المبطن للغشاء الداخلي للأمعاء الدقيقة إلى الدم وذلك عندما يدخل الحمض إلى الإثنى عشر، وعندما يصل إلى دورة الدم في البنكرياس فإنه يحفز الخلايا البنكرياسية لتفرز سائلاً مائياً محتوياً على تركيز عالٍ من أيونات البيكربونات ولكن مع قليل جداً من الأنزيم. كوليسايستوكاينين

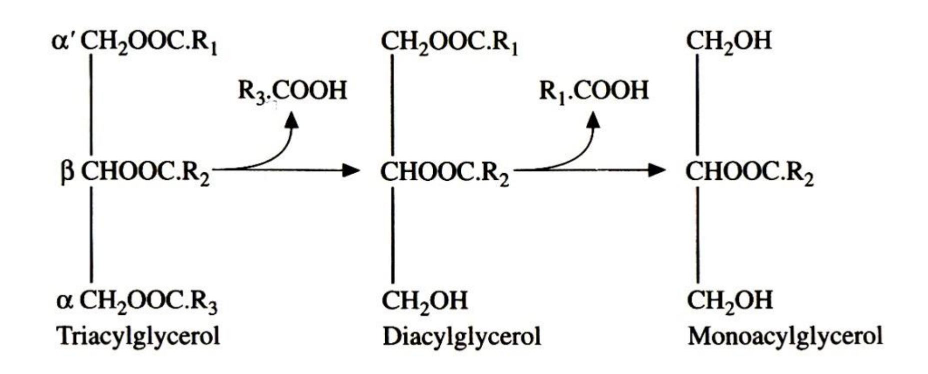
(cholecystokinin) أو بانكريوزايمين (Pancreozymin)، وهو هرمون ينطلق هو الأخر من الغشاء المخاطي عندما تدخل الببتيدات والنواتج الأخرى للهضم إلى الإثنى عشر. ويحفز هذا الهرمون إفراز أنزيمات ومولدات الأنزيمات مثل تريبسينوجين، كيمو تريبسينوجين، بروكاربو كسببتايديز A , B ، بروإلاستيز، α - أميلز، الليبيز، ليسيثينيز ونيوكلييز. وتختلف هذه الأنزيمات عن الببسين بأن درجة تركيز أيونات الهيدروجين المثلى لها حوالي 7 إلى 9. ويتحول التريبسينوجين (مولد أنزيم التريبسين) من الصورة غير النشطة إلى التريبسين النشط بواسطة أنزيم انتيروكاينيز " enterokinase " الذي ينطلق من الغشاء المخاطي للإثنى عشر ويحفّز هذا التنشيط أيضاً بالتريبسين نفسه وبهذا يمثل تفاعلاً ذاتي التحفيز (autocatalytic). و ينتج عن عمليات التنشيط تحرر ببتيدات سداسية من النهاية الطرفية الأمينية في التريبسينوجين. والتريبسين متخصص جداً ويعمل فقط على الروابط الببتيدية المشتملة على مجاميع الكربوكسيل في أحماض اللايسين والآرجينين ويقوم التريبسين أيضاً بتحويل الكيموتريبسينوجين إلى الإنزيم النشط كيموتريبسين والذي له خصوصية نحو الروابط الببتيدية المشتمله على مجاميع الكربوكسيل لأحماض التايروسين، تريبتوفان، فينايل الآنين والليوسين. وتتحول كذلك أنزيمات بروكاربوكسي ببتايديز بواسطة التريبسين إلى كاربوكسي ببتايديز حيث تهاجم الببتيدات عند نهاية السلسلة، تشطر الأحماض الأمينية الطرفية التي بها مجموعة α - كربوكسيل حرة. ويصنف مثل هذا الأنزيم على أنه " أنزيم محلل الروابط الببتيدية الخارجية " كتميز عن التريبسين والكيموتريبسين التي

تهاجم الروابط الببتيدية داخل الجزيء، وتعرف " أنزيمات تحلل الروابط الببتيدية داخل السلسلة الطويلة

." Endopeptidases "

ويشبه α – أميليز البنكرياس في نشاطه أميليز اللعاب وهو يهاجم الروابط α 1 ← 4 جلوكان في النشا والجلابكوجين .

ويتم هدم الدهون بواسطة ليبيز البنكرياس ولا يقوم هذا الأنزيم بتحليل ثلاثي أسيل الغليسرين بالكامل ويقف تأثيره عند مرحلة أحادي أسيل الغليسرين.



ويترك الدهن الغذائي المعدة في شكل كريّات كبيرة نسبياً والتي يصعب تحللها بسرعة. ويكون تحلل الدهن بالاستحلاب الذي يتم بواسطة فعل أملاح الصفراء.

وتعتبر هذه الأملاح بالصفراء منظفات أو" amphipaths "، كون نواة الكوليستيرول ذائبة في الليبد وأن مجاميع الكربوكسيل والقرائن المتأينة للجلايسين أو التاورين " taurin " تصبح ذائبة في الماء. بالإضافة إلى أن هذه المنظفات " amphipaths "

"، وهي عوامل استحلاب فإن لها أيضاً خاصية كونها قادرة على التجمع ببعضها لتكوين مذيّلات (micelles، وهي جسيمات مكهربه في مادة شبه غروية)، وبالرغم من أن ثلاثي أسيل الغليسرين غير ذائبة في هذه المذيلات " micelles " فإن أحادي أسيل الغليسرين ومعظم الأحماض الدهنية تذوب مكونة مذيلات مخلوطة. وتكون بعض الأحماض الدهنية " مثل الستياريك " غير سهلة الذوبان في مذيلات أملاح الصفراء النقية ولكنها تذوب في مخلوط المذيلات.

ليسيثينيز A (Lecithinase A) أنزيم يحلل رابطة الحمض الدهني مع مجموعة بيتا- هيدروكسيل في الليسينين، والمركب الناتج من هذا التحلل هو اللايسوليسيثين (Lysolecithin)، الذي يتحلل أيضاً عن طريق الأيسوليسيثينيز(Lecithinase B) ليكون جلايسروفوسفوكولين وحمض دهني، اما كوليستيرول استيريز (Cholesterol esterase) أنزيم يحفز شطر استرات الكوليستيرول. تتحلل الأحماض النووية DNA و RNA بواسطة بولي نيوكليوتايديز (Polynucleotidase)، ديوكسي رايبو نيوكلييز

(Deoxyribonuclease,DNase) ورايبونيوكلييز (Rnase, ribonuclease) على التوالي.

وتقوم هذه الأنزيمات بشطر روابط الاستر الموجودة بين السكر وحمض الفوسفوريك في الأحماض النووية. النيوكليوتايدز " nucleotides " هي المكون الأساسي للنواتج النهائية.

تؤثر أنزيمات نيوكليوسايدز nucleosidases في الرابطة الموجودة بين السكر والقواعد النيتروجينية مطلقة البيورينات والبايريميدينات (Purines and Pyrimidines) الحرة، ثم

تكمل أنزيمات الفوسفاتيزيز "phosphatases" التحلل بفصل حمض ارثوفوسفوريك من الريبوز أو الديوكسي ريبوز.

يتم تحلل السكريدات القليلة oligosaccharides إلى سكريدات أحادية "monosaccharides" والببتيدات الصغيرة إلى أحماض أمينية بواسطة إنزيمات مرتبطة بالخملات المعوية " intestinal Villi "، وتحدث نسبة بسيطة فقط من التحلل بين تجويفيه " intraluminally " وتنشأ من الإنزيمات الموجودة في الخلايا الهَرِمه المهملة من الغشاء المخاطي المعوي. ويحدث معظم التحلل الإنزيمي عند السطح التجويفي من الخلايا المبطنة للغشاء المخاطي، بالرغم من امتصاص بعض الببتيدات بواسطة الخلايا قبل تحللها عن طريق الإنزيمات الموجودة في السايتوبلازم. الإنزيمات التي تنتج بواسطة الخملات "villi" هي سكريز (sucrase) الذي يحول السكروز إلى جلوكوز وفركتوز، مالتيز (Maltase) الذي يفكك المالتوز إلى جزيئين من الجلوكوز، لاكتيز(Lactase) الذي يحلل اللاكتوز إلى جزيء جلوكوز وجزيء جالاكتوز. اوليجو– 6 ، 1 – جلوكوسايديز

(Oligo-1, 6- glucosidase)، الذي يؤثر في روابط α - ($1 \rightarrow 6$) في الديكسترين المحدد، كما تعمل إنزيمات امينوبيتايديزيز(Aminopeptidases) على الرابطة الببتيدية المجاورة للمجموعة الأمينية الحرة من الببتيدات البسيطة بينما تكمل إنزيمات دايبتيديز (Dipeptidases) هدم الببتيدات الثنائية إلى أحماض أمينية.

بالرغم من تميز الأمعاء الغليظة بأنها المكان الرئيسي للتخمر الميكروبي (انظر أسفل)، فإن هناك أعداداً ميكروبية في الأمعاء الدقيقة، فقد أوضحت أبحاث حديثة

بتغذية خنازير (معد لها ناسورة في الصائم أو المعي الأوسط) على بقايا بنجر السكر أن الجزء الأكبر (47%) من ألياف المنظف المتعادل (NDF) هضمت قبل نهاية الصائم " terminal ileum " ، هذا التفكك هو نتيجة النشاط الميكروبي في المعدة والأمعاء الدقيقة وتحلل الحمض لبعض من أجزاء الألياف.

الهضم في الأمعاء الغليظة Digestion in the Large intestine

الأمعاء الدقيقة هي المكان الرئيسي لامتصاص العناصر الغذائية التي تم هضمها وبوصول المواد الغذائية إلى مدخل القولون " الجزء الأسفل في الأمعاء الغليظة "، فإن غالبية العناصر الغذائية المتحللة قد امتُصَّت، وغالباً يوجد في الأغذية الطبيعية كمية معينة من المادة التي تقاوم تأثير الأنزيمات المفرزة إلى القناة الهضمية. وتقوم الأمعاء الغليظة بدور مهم في استرجاع العناصر الغذائية و الالكتروليتات "electrolytes" والماء في المواد الخاضعة للهضم (digesta). وتمتلك الخنازير أعور قصيراً وقولوناً طويلاً مقارنة بذوات المعدة الوحيدة الأخرى من آكلات اللحم والعشب. السطح المخاطي ليس له خملات "Villi" كما هو الحال في الأمعاء الدقيقة، ولكن هناك نتوءات تزيد مساحة السطح. عندما تدخل المحتويات الموجودة في اللفائفي إلى الأمعاء الغليظة، فإن السوائل والجسيمات الدقيقة تحتجز بصورة تفضيلية عن طريق القولون الصاعد، بينما تتحرك الجسيمات الخشنة distally بمعدل أسرع.

ولا يتأثر السيليولوز والعديد من الهيميسيليولوز(Hemicelluloses) بأي من الأنزيمات الموجودة في الإفرازات الهاضمة في الخنزير، بالإضافة إلى ذلك فإن نشويات معينة، مثل نشا البطاطس الخام، يكون مقاوماً للتحلل بالأميليز. عرف اللجنين "الخشبين" بأنه لا يتأثر بالكامل ولهذا يكون غير قابل للهضم، ومن المعتقد أيضاً أن الأنسجة المتخشبة قد ترتبط مع البروتينات والكربوهيدرات وتحميها من تأثير الأنزيمات الهاضمة. وتكون أغلبية الغدد في الأمعاء الغليظة غدداً مخاطية لا تعمل على إنتاج أنزيمات، ولذلك يتم الهضم في الأمعاء الغليظة بواسطة أنزيمات أدخلت مع الغذاء من الجزء العلوي للقناة الهضمية أو حدثت نتيجة النشاط الميكروبي.

ويحدث النشاط الميكروبي المكثف في الأمعاء الغليظة، وخاصة في الأعور " " caecum. انخفاض معدل المرور ووفرة مصادر العناصر الغذائية هنا يشجع على نمو البكتيريا، حيث يوجد عدد هائل من البكتيريا الهوائية وغير الهوائية الإجبارية تشمل *Lactobacilli , Streptococci , Coliforms , bacteroides , clostridia* والخمائر، وتعمل هذه البكتيريا على استقلاب مدى واسع من مصادر النيتروجين والكربوهيدرات من كل من البقايا الغذائية والداخلية والتي ينتج عنها تكوين عدد من النواتج تشمل الأندول، السكاتول، الفينول، كبريتيد الهيدروجين، أمينات، أمونيا " نشادر" والأحماض الدهنية الطيارة (الخليك و البروبيونيك والبيوتاريك). وفيما يتعلق ببكتيريا الكرش، تتغير الأعداد النسبية من الأجناس استجابة للمادة المتاحة للتخمر. وتُنتج أكثر أحماض دهنية طيارة من تخمر الجسيمات الدقيقة وذلك لان مساحة سطح اكبر يتم مهاجمتها من قبل البكتيريا، ومع

ذلك فإن هضم السيليولوز والسكريدات المركبة الأخرى يكون بسيطاً مقارنة بالذي يحدث في الخيول والمجترات التي لها أجهزة هضمية متكيفة للتعامل مع الأغذية الليفية. ويقدر التخمر الميكروبي للأغذية التقليدية للخنزير بين 8 إلى 16 % من المادة العضوية المهضومة من القناة الهضمية. نواتج الهدم الميكروبي للسكريدات المركبة ليست سكريات ولكنها بالدرجة الأولى هي الأحماض الدهنية الطيارة المبنية سابقاً، ويمكن أن ينتج حمض اللاكتيك في بعض الحالات. وتمتص الأحماض الدهنية الطيارة وتساهم في مصدر الطاقة للخنزير.

قد يكون للنشاط البكتيري في الأمعاء الغليظة تأثير مفيد بسبب تصنيع بعض من فيتامينات B ، التي قد تمتص وتستخدم بواسطة العائل، ومن ناحية أخرى، فإن تصنيع معظم الفيتامينات في القناة الهضمية للخنزير غير كافٍ حتى يفي بالاحتياجات اليومية ولذلك يحتاج إلى مصدر غذائي.

وتتكون الفضلات أو الروث التي تخرج بواسطة من الأمعاء الغليظة بواسطة فتحة الشرج من ماء ، بقايا غذائية غير مهضومة، إفرازات هاضمة، خلايا الغشاء المخاطي للقناة الهضمية، أملاح غير عضوية، بكتيريا ونواتج تحلل ميكروبي.

الهضم في صغار الخنزير Digestion in the young pig

من الولادة وحتى عمر خمسة أسابيع يكون تركيز ونشاط عدة إفرازات هضمية في صغار الخنازير مختلفاً عما هو عليه في الحيوان الناضج. و تكون الأمعاء خلال الأيام الأولى بعد الولادة منفذة للبروتينات الطبيعية، ويكون هذا ضرورياً في صغار الخنازير كما هو في

الحيوانات المزرعية الأخرى وذلك لانتقال جاما- جلوبيولينات " γ– glabulins، الأجسام المضادة " بواسطة لبن الأم إلى الحيوان حديث الولادة. وتتناقص قدرة صغار الخنازير على امتصاص هذه البروتينات سريعاً وتكون قليلة عند الأربع والعشرين ساعة بعد الولادة.

تنتج معدة صغار الخنازير "Piglet" في البداية كمية محدودة من حمض الهيدروكلوريك وببسينوجين ولكنها تنتج كايموسين "Chymosin". ويعمل هذا عند درجة تركيز ايونات الهيدروجين 3.5 لهدم الروابط الببتيدية بين أحماض فينايل الأنين وميثيونين في بروتين الكازين، ويعمل هذا على تخثر اللبن وبذلك يمكن تفادي ملئ الأمعاء الدقيقة بالعناصر الغذائية. بتطور الخنزير يزداد إفراز البيسينوجين وحمض الهيدروكلوريك، ويوضح الجدول 2.8 نشاط بعض الكربوهيدرات الهامة في صغار الخنازير.

جدول 82. : وزن السكريدات الثنائية المتحللة لكل كيلوجرام وزن حي في الساعة بواسطة إنزيمات الأمعاء الدقيقة في صغار الخنازير.

	لاكتوز (جرام)	سكروز (جرام)	مالتوز (جرام)
حديث الولادة	5.9	0.06	0.3
خمسة أسابيع	0.8	1.3	2.5

يكون نشاط إنزيم اللاكتير عالياً عند الولادة ويصل اعلي مستوي له في الأسابيع الخمسة الأولى من الحياة ومن ثم يتناقص ببطء على مدى الأسبوع الثالث أو الرابع. ويتزايد

نشاط إنزيم المالتيز من الأسبوع الرابع بينما يصل السكريز إلى معدل ثابت بين الأسبوع الرابع والثامن.

يظهر نشاط إنزيم α – اميليز عند الولادة ولكنه يبقى منخفضاً حتى أربعة أسابيع من العمر. وتكون الفروق في نشاطات الإنزيمات ذات أهمية خاصة حيثما تربى صغار الخنازير على أغذية الفطام المبكر، فإذا تم فطام صغار الخنازير عند عمر 14 يوماً فإن أغذيتها يجب أن تختلف عن الحيوانات التي تم فطامها مؤخراً وخاصة فيما يتعلق بأنواع الكربوهيدرات. وعادة تشتمل مخاليط الفطام المبكر نسبة عالية من منتجات اللبن المجفف التي تحتوي على اللاكتوز. ولا بدا أن يشتمل الغذاء على الحبوب المطبوخة وذلك في حالات الفطام المتأخر عند ثلاثة أو أربعة أسابيع نظراً لان النشا الخام لا يهضم بالكامل في الأمعاء الدقيقة ويعبر إلى الأمعاء الغليظة، حيث يختمر بواسطة البكتيريا مسبباً الإسهال.

الهضم في الطيور Digestion in fowl

تتشابه الإنزيمات الموجودة في الإفرازات الهضمية في الطيور مع تلك التي في الثدييات، بالرغم من عدم اكتشاف إنزيم اللاكتيز. من ناحية ثانية، تختلف القناة الهضمية في الدواجن عنها في الخنزير في عدد من المظاهر (انظر شكل 1.8). وتستبدل الشفاه والوجنات في الدواجن بالمنقار أما الأسنان فهي غير موجودة. ويكون التذوق محدوداً، وتوجد نتوءات التذوق في النصف الخلفي من اللسان وبجانب البلعوم. والحوصلة هي كيس في المريء يقع عند حوالي الثلثين نزولا مع طوله وقبل دخوله إلى الصدر مباشرة، وهي عبارة عن كيس يشبه الكمثرى مكونة من فص مفرد وظيفته الرئيسية كمخزن لحجز الطعام حيث تملأ وتفرع الحوصلة بواسطة الحركة الانقباضية" Peristalsis ".

لا يحتوي جدار الحوصلة على غدد لإفراز المخاط، كما إنها ليست ضرورية للطائر ولكن وجودها يعطى مرونة أكثر للنشاط الغذائي. تم معرفة وجود إنزيم اميليز اللعاب في الطيور ويستمر أثر هذا الإنزيم على النشا في الحوصلة، بالإضافة إلى ذلك يوجد هناك نشاط ميكروبي أثناء تخزين الطعام. تسود بكتيريا لاكتوباسيللاي " *Lactobacill* " والتي تكون موجودة في جدار الحوصلة. أحماض اللاكتيك والخليك هي النواتج الرئيسية للتخمر " Fermentation ".

ينتهي المريء عند المعدة الحقيقية " Proventriculus " أو المعدة الغدية وهذه المعدة تفرز حمض الهيدروكلوريك وببسينوجين و المعدة الغدية لها حركة صغيرة ضعيفة ويعبر الغذاء خلالها نتيجة تقلصات المريء. و تؤدي هذه المعدة إلى القانصة، وهي عضو بداخله حواف مرتفعة تخضع لتقلصات منتظمة وتطحن الغذاء مع الرطوبة حتى يصبح عجينة ناعمة " Smooth paste". يُنتج جدار القانصة Koilin وهو مركب من السكريد المتعدد مع البروتين يشابه الكيراتين في مكوناته من الأحماض الأمينية حيث يتصلب في وجود حمض الهيدروكلوريك. تمر حبيبات المواد نصف المهضومة " digest " إلى الأمعاء الدقيقة عندما يتم طحنها بكفاية قليلة ويمكن أيضا أن ترجع المواد نصف المهضومة في الأمعاء إلى القانصة. بالرغم من أن وجود " الحصى " في القانصة غير ضروري ولكن قد تبين أنه يرفع هدم الحبوب الكاملة حوالي 10 %. ويحدث التحلل البروتيني في تجويف القانصة وهكذا فإن المعدة الغدية " Proventriculus " والقانصة تشابه وظيفة المعدة في الثدييات.

تنطوي الإثنى عشر على البنكرياس كما هو الحال في الثدييات، أما في الطيور فإن القنوات البنكرياسية الثلاثة وقناتا الصفراء (واحدة من كيس الصفراء وواحدة من الفص الأيمن للكبد) جميعها تفتح في الأمعاء الدقيقة عند نهاية الإثنى عشر حيث يختلف عدد وترتيب القنوات بين الطيور (Fowls)، الإوزة والديك الرومي.

وتحتوي العصارة البنكرياسية أنزيمات مماثلة لإفراز الثدييات ويعتقد أن هضم البروتينات، الدهون والكربوهيدرات يكون مشابهاً لما يحدث في الخنزير. ويُنتج الغشاء المخاطي للأمعاء مخاطين، α− أميليز، مالتيز، سكريز، وأنزيمات محللة للبروتينات Proteolytic enzymes.

وبخلاف صغار الخنازير تمتلك الكتاكيت نشاطات مالتيز و وسكريز في الأمعاء الدقيقة، ونظراً لآدائها الجيد على الأغذية المحتوية على حبوب غير مطبوخة فمن الممكن أن نفترض بأنها تمتلك نشاطاً كافياً لأنزيم الأميليز.

يوجد جيبان (انبوبتان) مسدودان من احد طرفيهما عند اتصال الأمعاء الدقيقة بالأمعاء الغليظة تعرف بالأعورين " Caeca "، وتعمل هذه كأعضاء امتصاص غير أنها غير ضرورية للطائر نظراً لأن إزالتهما جراحياً لا تسبب تأثيرات مؤذية. إن النشاط الانقباضي يقوم بخلط المواد المهضومة مع البكتيريا المصاحبة للغشاء المخاطي للأعورين، وهذا بدوره يؤدي إلى تخمرها وإنتاج أحماض دهنية طيَّارة. وتشير التجارب باستخدام الطيور الناضجة بأن السيليولوز في حبوب النجيليات لا يتم تفككه بالنشاط الميكروبي على نطاق واسع أثناء مروره بالقناة الهضمية، بالرغم من تفكك بعض أشباه السيليولوز

(Hemicellulose). بنفس الطريقة فإن ربط الأعورين في الإوز لا يغير القيمة الهضمية للألياف الخام، بالتالي ليس من المرجح أن الأحماض الدهنية الطيارة تساهم بنسبة كبيرة في إشباع احتياجات الدواجن من الطاقة.

تصب الأعوران في قولون قصير نسبياً وذلك بواسطة التقلصات الانقباضية، حيث تكون وظيفته الرئيسية نقل المواد المهضومة إلى نهايته أو ما يعرف بالمجمع. المجمع حيث تخرج المخلفات " الغائط والبول مع بعضها أي يجمع وظيفة المستقيم والمثانة.

امتصاص العناصر الغذائية المهضومة Absorption of digested nutrients

الأمعاء الدقيقة هي العضو الرئيسي لامتصاص العناصر الغذائية بواسطة الثدييات وحيدة المعدة. نظراً لوجود الخملات " Villi " وزيادة مساحة سطحه بالانثناء فإن هذا الجزء من القناة الهضمية تكيّف خصيصاً للامتصاص، وبالرغم من أن الإثنى عشر لها خملات، فإنها بالدرجة الأولى تعتبر مكان خلط ومعادلة وان المكان الرئيسي للامتصاص هو الصائم " الجزء الأوسط من المعي الدقيق ". يمكن أن يتم امتصاص العناصر الغذائية من تجويف الأمعاء بواسطة نقل سلبي يتضمن انتشاراً بسيطاً شريطه وجود تركيز مرتفع من العناصر الغذائية خارج الخلية وتركيزاً منخفضاً بداخلها. ويكون الجهاز الوعائي في الخملات " Villi " معدلاً إلى حد يكون فيه ميل التركيز في قمته " concentration gradient is maximized ".

وتُمتص العناصر الغذائية مثل السكريدات الأحادية، الأحماض الأمينية والببتيدات الصغيرة بمعدل أسرع من الانتشار البسيط، ويُدعم امتصاص تلك الجزيئات بواسطة أنظمة

نقل خاصة حيث ترتبط حامل البروتينات عكسياً بالعنصر الغذائي وينقله عبر الأهداب المجهرية في الغشاء البلازمي (brush border) والأغشية القاعدية الجانبية لخلايا الغشاء المبطن للأنسجة (epithelial). وقد يكون النقل بواسطة الانتقال المسهَّل *Facilitative transport* حيث يقوم الحامل بنقل الجزيء إلى أدنى من ميل التركيز وقد يتم الامتصاص بعملية بديلة من النقل المنشط (*active transport*) أو النقل المساعد (Cotransport) وفي هذه الحالة يملك الناقل مكانين مخصصة للارتباط حيث تتصل مع إحداهما في حين يأخذ المكان الأخر أيون صوديوم في حالة السكريدات الأحادية والأحماض الأمينية أو أيون هيدروجين في حالة الببتيدات الثنائية. وينتقل أيون الصوديوم (أو الهيدروجين) إلى أقل من الميل الكيميائي(Chemical gradient) وبهذا فإن الناقل المحمل يتحرك عبر الغشاء المعوي ويضع العنصر الغذائي العضوي والصوديوم داخل الخلية. ويرجع الناقل الفارغ عبر الغشاء حراً لالتقاط عناصر غذائية إضافية. ويتم ضخ أيون الصوديوم عكسياً إلى التجويف " lumen " بنشاط أنزيم ATPase المسئول عن تبادل أيونات الصوديوم والبوتاسيوم عن طريق (Na^{+} / K^{+} transporting ATPase) أما في حالة ناقل الببتيدات الثنائية فإن ميل تركيز أيون الهيدروجين يتم المحافظة عليه بواسطة نظام يشتمل أيون الصوديوم وأيون الهيدروجين حيث يخلق بيئة حمضية خاصة على سطح الأمعاء الدقيقة. ويعتقد وجود عدد من الناقلات المختلفة بالرغم من أن البعض قد تنتقل أكثر من عنصر غذائي واحد؛ فعلى سبيل المثال يمكن أن يرتبط الزايلوز (Xylose) بنفس الناقل الذي ينقل الجلوكوز. والبروتينات الناقلة عبارة عن جزيئات كبيرة معقدة لها أماكن ربط لعناصر غذائية معينة أو مجموعات ذات

علاقة بهذه العناصر. ويمكن أن يفوق الوزن الجزئي 50000 ويتكون الناقل الذي يربط الصوديوم مع الجلوكوز من 664 حمض أميني، وحيث أن تصنيع وبقاء البروتينات الناقلة مكلفة للحيوان فقد يكون توفر مستوى معين للناقل غير كافٍ في عدم وجود مادة خاضعة للتفاعل (Substrate). ومن جهة ثانية، فإن وجود ناقل غير كافٍ فإن مسار النقل قد يحدد امتصاص وتمثيل العناصر الغذائية، لذلك فإن البروتينات الناقلة تعدل وتُظهر تأقلماً مع معدل العنصر الموجود في القناة الهضمية.

وتكون الطريقة الثالثة للامتصاص بواسطة الابتلاع (pinocytosis) حيث للخلايا القدرة على بلع جزيئات كبيرة في محلول أو مزيج معلق، وتكون تلك العملية مهمة خاصة في العديد من ثدييات حديثة الولادة الرضيعة حيث تُمتص الأجسام المناعية (immunoglobulins) الموجودة في السرسوب كما هي عليه.

الكربوهيدرات Carbohydrates

تُنتج السكريدات الأحادية من هضم الكربوهيدرات عن طريق أنزيمات تفرز من الخنزير والحيوانات وحيدة المعدة الأخرى. ويتم تكوين هذه السكريات البسيطة من سكريدات ثنائية على سطح غشاء الخملة المجهرية (microvillus). الالدوزات (Aldoses) مثل الجلوكوز تُنقل منشطة عبر الخلية بعد الارتباط بناقل خاص وتحمل في أنظمة الدم الرئيسية إلى الكبد portal blood systems ,بالرغم من تثبت أن هناك ناقلاً مسهلاً للفركتوز إلا أن آلية امتصاص الكيتوزات غير واضحة. وتختلف معدلات امتصاص

السكريات المتنوعة فعند تركيزات متساوية يُمتص الجالاكتوز، الجلوكوز، الفركتوز، المانوز، الزايلوز ثم الارابينوز في ترتيب تناقصي.

الدهون Fats

بعد الهضم يكون وجود الدهون في الأمعاء الدقيقة في الصورة المذابة من المذيلات المخلوطة (mixed micelles). كفاءة الامتصاص تتطلب حركة سريعة للجزيء غير المنجذب للماء بشكل كبير خلال طبقة الماء غير المتحركة والمحاذية للغشاء المخاطي mucosa وهذه هي مرحلة تحديد معدل الامتصاص. تساعد مخاليط المذيلات وأملاح الصفراء مع مجاميعها المنجذبة للماء هذه العملية.

ويتم الامتصاص عبر الأهداب المجهرية لسطح الغشاء المبطن للانسجة brush border بواسطة الانتشار السلبي passive diffusion حيث يكون في قمته عند الصائم (الجزء الأوسط من المعي الدقيق). وهناك إعادة تصنيع للجليسرولات الثلاثية تتبع الامتصاص، وهي عملية تحتاج إلى الطاقة وتتكون من قطيرات صغيرة جداً من الدهن (chylomicrons) و تمر هذه إلى الليمف Lacteal الموجود في الخملات وتدخل القناة الصدرية لترتبط بالجهاز الدوري العام. و لا تحتاج الأحماض الدهنية ذات السلسلة المتوسطة أو القصيرة مثل تلك الموجودة في زبده اللبن لأملاح الصفراء أو لتكوين المذيلة لكونها تمتص بسرعة عالية من تجويف الأمعاء مباشرة إلى مجرى الدم البابي. ويكون دخول هذه الأحماض معتمداً على الصوديوم ويتم عكس ميل التركيز Concentration gradient عن طريق النقل المنشط. ويكون الجهاز الليمفاوي في الدجاج في هذه الحالة غير ضروري وينقل معظم الدهن

في الدم البابي في صورة بروتينات دهنية منخفضة الكثافة (Low – density lipoproteins).

البروتينات Proteins

تكون نواتج هضم البروتين في تجويف الأمعاء أحماضاً أمينية حرة وقليلاً من الببتيدات تدخل الأخيرة الخلايا المبطنة لأنسجة الأمعاء وتتحلل وهي في المسار الرئيسي بواسطة إنزيمات متخصصة للببيدات الثنائية والثلاثية. ومن ناحية أخرى فإن بعض الببتيدات الصغيرة تمتص كاملة ومن ثم تظهر في الدم البابي " Portal blood ". الأحماض الأمينية التي تمر فيما بعد إلى الدم البابي ومن ثم إلى الكبد تمتص من الأمعاء الدقيقة بواسطة آلية النقل الفعال والتي تعتمد على الصوديوم في معظم الأحيان. ويكون أيون الصوديوم غير ضروري في حالة كل من الجلايسين، البرولين واللايسين. أنظمة عديدة تم الإشارة إليها لنقل الحمض الأميني ويمكن تقسيمها إلى أربعة مجاميع رئيسية. تتعلق الأولى بنقل الأحماض المتعادلة وحوامل (Carriers) منفصلة لنقل الأحماض الأمينية القاعدية وثنائية الكربوكسيل بالإضافة إلى ذلك يوجد نظام رابع لانتقال الأحماض الأمينية التي تحتوي مجموعة أمينو (imino acid) والجلايسين، ومع ذلك فإن هذه الآليات ليست دقيقة كلياً ويمكن أن تنقل بعض الأحماض الأمينية بأكثر من نظام واحد. ويختلف معدل الامتصاص من الاحماض الأمينية، فعلى سبيل المثال يكون معدل الامتصاص للميثيونين أعلى من الفالين والذي بدوره يكون أعلى من الثريونين. ولقد سبقت الإشارة إلى أن امتصاص البروتينات كما هي عليه مثل الجلوبيولينات المناعية يتم في الحيوانات حديثة الولادة بواسطة الابتلاع (pinocytosis).

يكون امتصاص المعادن إما بواسطة الانتشار البسيط أو النقل بمساعدة الحامل. ولم يتم التثبيت من الآليات الصحيحة لكل المعادن ولكن امتصاص الكالسيوم مثلاً منظم بواسطة ثنائي– هايدروكسي كولي كالسيفيرول 1, 25 – dihydrochole calciferol وتساعد درجة تركيز أيونات الهيدروجين pH المنخفضة على امتصاص الكالسيوم ولكن عدداً من العوامل الغذائية تُحبطه مثل وجود الاوكسالات والفايتيتز " oxalates and phytates " كذلك فإن الزيادة في أي من الكالسيوم أو الفوسفور تتداخل مع امتصاص الأخر، كما أن امتصاص الكالسيوم يتأثر كذلك باحتياجات الحيوان. مثال ذلك يكون امتصاص الكالسيوم من القناة الهضمية للدجاج البياض اكبر بكثير أثناء تكوّن القشرة مما لو كانت غدة القشرة غير نشطة. و لا يعتمد امتصاص الحديد في معظمة على المصدر الغذائي، الحيوان لديه صعوبة في إخراج الحديد من الجسم بأي كمية وهناك طرق قائمة على تنظيم الامتصاص لتجنب دخول كميات زائدة للجسم. و يكون امتصاص العنصر منخفضاً في البالغين عامة ولكن بعد النزف الحاد وأثناء الحمل تزداد الاحتياجات للحديد ولهذا يزداد امتصاصه أيضاً. من ناحية أخرى، قد تظهر الأنيميا نتيجة نقص الحديد عند انخفاضه في الأغذية، وقد وضّحت التجارب التي أجريت على الكلاب أن امتصاص الحديد في الحيوانات المصابة بالأنيميا قد يكون أكثر 20 مرة مما هو في الكلاب

السليمة. ويبين الزنك مثالاً أخر لآلية امتصاص المعادن، حيث يمتص هذا المعدن خلال الأمعاء الدقيقة بواسطة عملية توسط الحامل

(Carrier mediated procees)، الخطوة المحدد لمعدل الامتصاص هي استيعابه عند الأهداب المجهرية لسطح الغشاء المبطن للأنسجة brush borded)وفي كل من الجرذان والإنسان يصبح الحامل مشبعاً عند مستويات من الزنك أقل من المعتاد ملاحظته في الغذاء ويكون استيعاب الزنك من المحلول المائي أعلى من هذا التشبع بواسطة الانتشار السلبي. ويعتقد بأن الكالسيوم يثبط امتصاص الزنك وهناك اعتقاد بأن اليود في صورة عضوية يمتص بدرجة أقل مما لو كان في صورة غير عضوية. وتحتوي النباتات نسباً أعلى من اليود العضوي مقارنة بالأغذية ذات المنشأ الحيواني.

الفيتامينات Vitamins

تمر الفيتامينات الذائبة في الدهن (K , E , D , A) خلال الغشاء المخاطي للأمعاء وبصورة أساسية بآلية الانتشار السالب كالدهون. وقد تتحد مع البروتينات في داخل الخلايا وتدخل الجهاز الدوري العام كبروتينات دهنيةLipoproteins . يمتص فيتامين A من القناة الهضمية بسهولة أكثر من المادة التي يتشكل منها (الكاروتين)، بالرغم من الاعتقاد بوجوب تحلل استرات فيتامين A أولاً بواسطة أنزيم محلل الاستر " esterase " إلى صورة كحول قبل امتصاصه. وتتميز الستيرولات ذات المنشأ النباتي " phytosterols " بأنها منخفضة الامتصاص، ويعتبر بشكل عام أنه إذا لم يتحول الارجوستيرول إلى فيتامين D2 قبل الهضم فلا يمكن أن يمتص من الجهاز الهضمي بأي كمية.

ويعتقد بأن الفيتامينات الذائبة في الماء تمتص بكل من الانتشار البسيط والنقل بمساعدة الحامل والتي تعتمد على الصوديوم. ويمتص فيتامين B_6 بواسطة الانتشار السلبي في الأمعاء بشكل رئيسي وترتبط الكمية الممتصة خطياً بكميته في المواد المهضومة " digesta ". ولقد تم التأكيد على أهمية الجلايكوبرتين الحامل (العامل الذاتي) في امتصاص فيتامين B_{12} في الفصل السابق.

الهضم الميكروبي في المجترات والحيوانات العاشبة الأخرى

Microbial digestion in ruminants and other herbivores

تتكون أغذية المجترات مثل الأعشاب والمواد المالئة الليفية أساساً من السكريدات المتعددة ذات الروابط -B مثل السيليولوز، والذي لا يمكن هدمه بواسطة الإنزيمات الهضمية للثدييات. ومن أجل ذلك فإن المجترات طورت نظاماً خاصاً من الهضم يشمل التخمر الميكروبي للغذاء وذلك قبل تعرضه لأنزيماته الهاضمة. وسوف يناقش هذا الجزء من فصل 8 التأقلم التشريحي والفسيولوجي في المجترات الذي يساعد الهضم الميكروبي وسيوجز الكيمياء الحيوية (biochemical) لهذه الصورة من الهضم ونتائجه الغذائية. ولقد تميزت آكلات الأعشاب " herbivores " غير المجترات، مثل الحصان، عن المجترات حيث اتخذت نظماً مختلفة من الهضم الميكروبي عما هو في المجترات وهذا سوف يناقش بإيجاز.

تشريح وفسيولوجية الهضم في المجترات

Anatomy and physiology of ruminant digestion

تنقسم معدة المجترات إلى أربع حجيرات (انظر شكل 1.8)، تكون الحجيرتان الأولى في الصغار الرضيعة الكرش والشبكية المتممة لها غير متطورة نسبياً ويتم توجيه اللبن في طريقه إلى المعدة بواسطة أنبوبة من النسيج تعرف بميزاب المريء أو الشبكي، مباشرة إلى الحجيرات الثالثة والرابعة وهي الورقية والمعدة الحقيقية. وكلما بدأ العجل أو الحمل في أكل الغذاء الصلب فإن الحجيرتين الأولى (وتعتبر غالباً مع بعضهما الكرش والشبكية) تتسع أكثر حتى تمثل 85 % من السعة الكلية في معدة الحيوان البالغ. لميزاب المريء وظيفة في الحيوان البالغ تحت ظروف التغذية العادية حيث يعبر كل من الغذاء والماء إلى الكرش والشبكية. ومن ناحية أخرى، فإن قدرة الميزاب على الانغلاق لتكوين أنبوب يمكن تنشيطها حتى في الحيوانات البالغة وخاصة لو تركت لتشرب من الضرع.

يخفف الغذاء أولاً بكميات غزيرة من اللعاب أثناء الأكل ومرة ثانية خلال الاجترار.الكميات النموذجية من اللعاب المنتجة يومياً هي 150 لتراً في الأبقار و 10 لتر في الأغنام (الضأن). وتحتوي مكونات الكرش ما بين 850 إلى 930 جم من الماء لكل كجم في المتوسط، ولكنها تتواجد عادة في حالتين: الحالة السائلة السفلى والتي تكون فيها الأغذية الناعمة معلقة وطبقة علوية جافة من المادة الصلبة الخشنة. ويتم هدم الغذاء جزئياً بواسطة الوسائل الطبيعية وجزئياً بالوسائل الكيميائية. وتخلط محتويات الكرش باستمرار وبواسطة الانقباضات المستمرة لجدار الكرش وخلال الاجترار فإن مواد الطرف الأمامي ترد إلى المريء وتعود إلى الفم بواسطة موجة من الانقباضات، وأي سوائل فيها تبلع مرة أخرى ولكن المادة الخشنة تمضغ تماماً قبل عودتها إلى الكرش. ومن المحتمل أن العامل الرئيسي الذي يحث

ليجتر هو التحفيز اللمس للطبقة المبطنة للأنسجة في مقدمة الكرش؛ وقد تخفق بعض الأغذية التي لا تحتوي أو ينقصها الجزء الخشن في توفير تحفيز كافٍ للاجترار. ويعتمد الوقت المنفق في الاجترار على محتوى الغذاء من الألياف وبصفة عامة فإن أبقار المرعى تستغرق حوالي ثمان ساعات أو ما يعادل الوقت المستهلك في الرعي. ويتم ترجيع كل مضغة من الغذاء من 40 إلى 50 مرة، ولهذا تتلقى فرصة أكثر في المضغ مقارنة بما تعرضت له أثناء الأكل.

وتوفر الكرش والشبكية مستنبتاً (Culture) مستمراً لبعض الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية (البكتيريا، البروتوزوا و الفطريات). ويدخل الغذاء والماء إلى الكرش ويخمّر الغذاء جزئياً لينتج بالدرجة الأولى أحماضاً دهنية طيارة، خلايا ميكروبية وغازات الميثان وثاني أكسيد الكربون. تُفقد الغازات بواسطة التجشؤ ويتم امتصاص الأحماض الدهنية الطيارة بصورة رئيسية خلال جدار الكرش أما الخلايا الميكروبية مع مكونات الغذاء غير المنحل في الكرش فهي تعبر إلى المعدة الحقيقية والأمعاء الدقيقة، وهناك تهضم بواسطة إنزيمات يفرزها الحيوان العائل ويتم امتصاص نواتج الهضم، أما في الأمعاء الغليظة فإن هناك مرحلة ثانية من الهضم الميكروبي. تمتص الأحماض الدهنية الطيارة الناتجة في الأمعاء الغليظة ولكن الخلايا الميكروبية يتم إخراجها في الروث مع مكونات الغذاء غير المهضومة.

وتحتاج الكرش مثلها مثل نظم الاستنبات المستمر الأخرى إلى عدد من آليات الاتزان، فمن الناحية النظرية فإن الأحماض المنتجة بواسطة التخمر تكون قادرة على خفض درجة تركيز أيونات الهيدروجين " pH " في سائل الكرش " الفرث "

إلى 2.5 – 3.0، غير أنه تحت الظروف العادية يتم المحافظة عليه (pH) عند 5.5 – 6.5.   تعمل الفوسفات والكربونات التي يحتويها اللعاب كوسط منظم " Buffer"، بالإضافة إلى أن سرعة امتصاص الأحماض (وكذلك الأمونيا- انظر أسفل) تساعد على استقرار" PH ". يظل الضغط الاسموزي لمحتويات الكرش قريباً مما في الدم عن طريق تدفّق الايونات بينهما. ويستخدم الأوكسجين الداخل مع الغذاء وبسرعة للمحافظة على الظروف اللا هوائية anaerobiosis. ففي عدم وجود الأوكسجين، يكون ثاني أكسيد الكربون هو الوحيد الذي يتفاعل مع أيونات الهيدروجين ولهذا يتكون الميثان. وتبقى درجة حرارة سائل الكرش (الفرث) مقاربة لدرجة الجسم الحيوان   (38 – 42 ^{0}م). أخيراً فإن مكونات الغذاء غير المهضومة مع العناصر الغذائية الذائبة والبكتيريا تزال من الكرش عن طريق انتقال المواد المهضومة " digesta " خلال الفتحة الفاصلة بين الورقية والشبكية.

الكائنات الحية الدقيقة في الكرش Rumen Microorganisms

يتراوح عدد البكتيريا بين 10^{9} – 10^{10} لكل ملليليتر في محتويات الكرش، وقد تم تعريف أكثر من 60 نوعاً (Species)، معظمها لا هوائية وغير مكونه للجراثيم ولوصفها فإن على القارئ الرجوع إلى البحوث المدرجة في نهاية هذا الفصل. يبين (جدول 3.8) عدد من الأنواع (species) الأكثر أهمية ويشير إلى المواد التي تستخدمها ونواتج التخمر. هذه المعلومات بنيت على دراسات لأجناس معزولة مخبرياً خارج الأنظمة الحية *In Vitro*، وذلك لا ينطبق تماماً على الموجود داخل جسم الحيوان (*In Vivo*)،

ويتضح من جدول 3.8 مثلاً أن حمض السكسينك succinic acid هو أهم ناتج نهائي ولكن في الواقع أنه يتغير إلى حمض بروبيونك propeonic بواسطة بكتيريا أخرى مثل *Selenomonas ruminantium* (شكل 3.8)؛ وهذه التداخلات بين الكائنات الحية الدقيقة لها ميزة مهمة لتخمر الكرش. نقطة إضافية وهي أن نشاطات الأنواع المعينة من البكتيريا قد تختلف مكن احد سلالات البكتيريا strain إلى الأخرى. وتختلف الأعداد الكلية للبكتيريا والمجموع النسبي للأنواع المعينة تبعاً لغذاء الحيوان؛ و تشجع الأغذية الغنية بالمواد المركزة مثلاً، على ارتفاع العدد الكلي مما يساعد على تكاثر بكتيريا *lactobacilli*.

النوع	الوصف	المصدر النموذجي للطاقة	نواتج التخمر النموذجية [a]						مصادر بديلة للطاقة
			الخليك	بروبيونيك	بيوتارك	لاكتيك	سكسينك	فورميك	
Fibrobacter succinogenes	سالبة جرام، عصوية	سيليولوز	+				+	+	جلوكوز(نشا)
Ruminococcus flavefaciens	سالبة كاتاليز ومكورة ملتوية مستعمرات صفراء	سيليولوز	+				+	+	زايلان
Ruminococcus albus	مكورات فردية او زوجية	سيليوبيوز	+					+	زايلان
Streptococcus bovis	موجبة جارم سلاسل قصيرة مكورة؛ مكبسلة	نشا				+			جلوكوز
Prevotella ruminicola	سالبة جرام، بيضوية أو عصوية	جلوكوز	+				+	+	زايلان، نشا
Megasphaera elsdenii	مكورات كبيرة أزواج أو سلاسل	لاكتيت	+	+	+				جلوكوز، جليسرول

a : **باستثناء الغازات**

جدول 3.8 البكتيريا النموذجية للكرش، مصادر طاقتها ونواتج التخمر معمليا *In vitro*

باستثناء الغازات تتواجد البروتوزا بإعداد أقل من البكتيريا أي حوالي (10^6 لكل مللي لتر)، لكن لكونها أكبر حجما فقد تعادل الأخيرة في الكتلة الكلية. تكون معظم البروتوزوا في الحيوانات البالغة ذات أهداب وتنتمي إلى عائلتين. متساوية الأهداب " Isotrichidae " وتسمى عادة كاملة الأهداب " holotrichs " وهي كائنات بيضية مغطاة بأهداب وتشمل أجناس Isotricha و Dasytricha أما ophryoscolecidae أو قليلة الأهداب " oligotrichs " وتشمل عدة أنواع تختلف اختلافاً ملحوظاً في الحجم والشكل والمظهر؛ وتتضمن أجناس Entodinium , Diplodinium , Epidinium و Ophryoscolex. تستطيع قليلة الأهداب تناول حبيبات الغذاء ولا تستطيع الاستفادة من السيليولوز، ويكون وجود البكتيريا (flora) والبروتوزوا (fauna) في فترة مبكرة من الحياة، حوالي ستة أسابيع من عمر العجول.

إن فطريات الكرش تمت دراستها لأقل من عشرين سنة و يحتاج وضعها في محيط الكرش ecosystem إلى توصيف كامل. وتكون فطريات الكرش لاهوائية تماماً وتتضمن دورة حياتها طوراً متحركاً (بوغ حيواني zoospore) وطوراً نباتياً حافظة الأبواغ (sporangium)، وتصبح ملتصقة بحبيبات الغذاء أثناء الطور الأخير بواسطة أشباه جذور " rhizoids " تخترق جدران الخلية. تم تعريف العديد من الأنواع أو الأجناس، وبشكل نموذجي تلك التي تنتمي إلى جنس " Neocallimastix ". إن فطريات الكرش قادرة على استخدام معظم السكريدات المتعددة وعدة سكريات ذائبة؛ غير أن بعض الكربوهيدرات لا تستخدم بواسطة الفطريات مثل البكتين وحمض بولي جالاكتورونك و الأرابينوز والفوكوز

والمانوز وكذلك جالاكتوز. إما مساهمة فطريات الكرش في تخمر الغذاء فلم تحدد تماماً ولكن من المعروف أنها موجودة بأعداد كثيرة (تمثل 10 % من الكتلة الميكروبية الحية Microbial biomass) عندما يكون الغذاء غنياً بالألياف (أي ليست أغذية حبوب أو أعشاب مرعى خضراء). ويمكن تصور أن الكائنات الحية الدقيقة في الكرش تعمل مع بعضها فيما يعتبر اتحاداً consortia وذلك لمهاجمة وتحلل الأغذية. و تكون بعضها مثل الفطريات قادرة على مهاجمة أنسجة النبات وتكوين مستعمرات عليها، و تتبعها البعض الآخر لتقوم بتخمر بقايا عملية المهاجمة. وأوضحت الدراسات التفصيلية والتي تضمنت فحص الصور بالمجهر الالكتروني أن 75 % من بكتيريا الكرش تكون ملتصقة في حبيبات الغذاء.

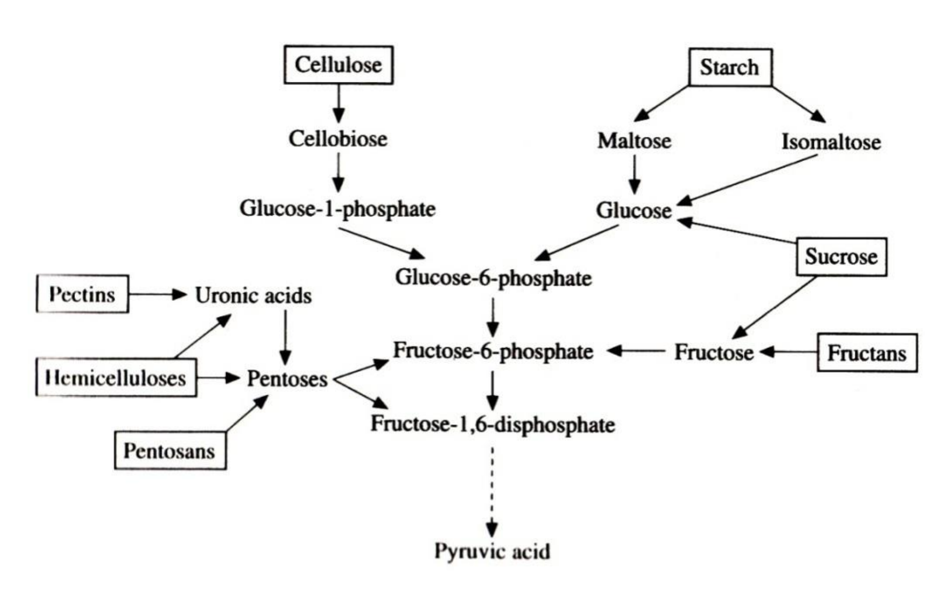
وبما أن الكتلة الميكروبية المتكونة في الكرش توفر حوالي 20 % من العناصر الغذائية التي يمتصها العائل فإن مكونات الكائنات الحية الدقيقة تكون مهمة. وتحتوي المادة الجافة للبكتيريا حوالي 100 جرام نيتروجين/كيلوجرام، ولكن 80 % فقط من ذلك يكون في شكل أحماض أمينية أما (20 %) المتبقية فإنها تكون موجودة كنيتروجين الأحماض النووية، علاوة على ذلك فإن بعض الأحماض الأمينية تكون في محتوى الببتيدوجلايكان peptidoglycan في غشاء الجدار الخلوي، وتكون غير مهضومة بواسطة الحيوان العائل.

هضم الكربوهيدرات Digestion of Carbohydrates

يحتوي غذاء المجترات كميات كبيرة من السيليولوز، الهيمسيليولوز، النشا وكذلك الكربوهيدرات الذائبة في الماء في صورة فركتانز Fructans بالدرجة الأولى. ولهذا فإنه في أعشاب المرعى الخضراء والتي تكوّن الغذاء الوحيد للمجترات أحياناً، قد يحتوي الكيلوجرام من المادة الجافة حوالي 400 جرام سيليولوز وهيميسيليولوز وحوالي 200 جرام كربوهيدرات ذائبة في الماء، أما في الأعشاب الناضجة وفي الدريس والتبن تكون نسبة السيليولوز والهميسيليولوز أعلى بكثير والكربوهيدرات الذائبة في الماء أقل بكثير. وتكون الكربوهيدرات المتصلة برابطة B متحدة مع الخشبين " Lignin " والذي قد يمثل 20 – 120 جرام لكل كيلوجرام من المادة الجافة. باستثناء الخشبين، فإن كل الكربوهيدرات تهاجمها الكائنات الحية الدقيقة في الكرش. ربما يقسّم تحلل الكربوهيدرات في الكرش إلى مرحلتين، الأولى وفيها يتم هضم الكربوهيدرات المعقدة إلى سكريات بسيطة حيث يتم ذلك بواسطة أنزيمات خارج الخلية ولهذا فهي مشابهة لهضم الكربوهيدرات في غير المجترات. ويتحلل السيليولوز بواسطة واحد أو أكثر من أنزيمات β-1,3- glucosidases إلى سيلوبيوز cellobiose ومن ثم يتحول إما إلى جلوكوز أو إلى جلوكوز – 1 – فوسفات بتأثير أنزيم الفسفرة (phophorylase). ويتحول النشا والدكسترين أولاً وبواسطة الأميليز amylases إلى مالتوز وايزومالتوز وبعد ذلك يتحول إلى جلوكوز أو جلوكوز – 1 – فوسفات وذلك بواسطة maltose phophotylase , maltases أو 1, 6 – glucosidases.

تتحلل الفركتانز (Fructans) بواسطة أنزيمات تهاجم الروابط 2 ، 1 وكذلك 6,2 لتعطي فركتوز، والذي قد يُنتج مع الجلوكوز عن طريق هضم السكروز (انظر

شكل 2.8). البنتوزات(Pentoses) هي الناتج الرئيسي لتحلل الهيميسيليولوز والتي تحدث نتيجة مهاجمة الأنزيمات للروابط 4 , 1 – β لتعطي زايلور وأحماض يورونيك uronic acid ثم يتحول الأخير إلى زايلوز. تُنتج أحماض يورونيك أيضاً من البكتينات والتي تتحلل أولاً إلى حمض البكتين والميثانول تحت تأثير Pectinesterase. حمض البكتين يتم مهاجمته من قبل إنزيمات polygalacturonidases لتعطي أحماض جالاكتورونيك، والتي بدورها تنتج زايلوز قد ينتج الزايلوز والأخير يمكن تكوينه أيضاً من تحلل الزايلانز " xylans " والذي قد يكوّن الجزء المهم من المادة الجافة في الأعشاب.

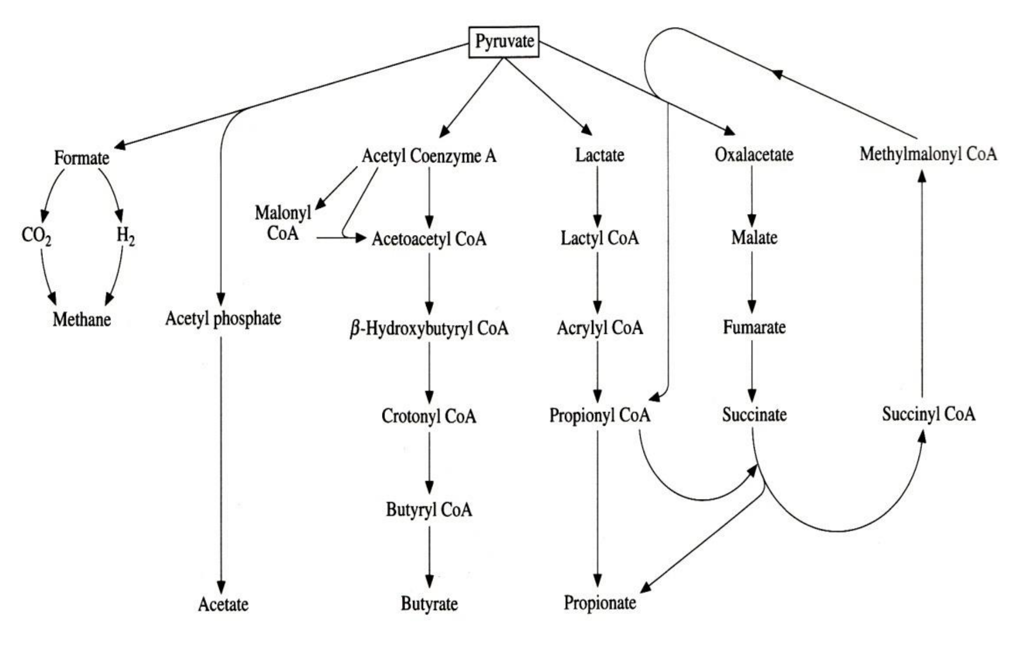


شكل2.8 تحويل الكربوهيدرات إلى حمض بايروفيك في الكرش.

قلما توجد السكريات البسيطة الناتجة من الطور الأول لهضم الكربوهيدرات في سائل الكرش، لأنها تستهلك مباشرة وتُستقلب خارج الخلية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة.

المسارات التي يتضمنها الطور الثاني تكون مشابهة في عدة نواحي لما يتضمنه استقلاب الكربوهيدرات بواسطة الحيوان نفسه، ولهذا تمت مناقشتها في الفصل العاشر، ومع ذلك فإن المسارات الرئيسية أوجزت في شكل 3.8 .

البايروفيت هو المركب الوسيط (أي الذي يربط مسارات شكل 2.8 مع مسارات شكل 3.8)، ويبين شكل 3.8 المسارات التي تربط البايرروفيت بالنواتج النهائية المهمة لهضم الكربوهيدرات في الكرش، وهي الاسيتك، البروبيونك والبيوتاريك وكذلك ثاني أوكسيد الكربون وغاز الميثان. وتُنتج أحماض دهنية إضافية وتكون عادة بكميات صغيرة وذلك بواسطة إزالة مجموعة الأمين من أحماض أمينية، وهذه هي ايزوليوسينمن الفالين وحمض فاليريك من البرولين وحمض 2 – ميثايل بيوتاريك من الايزوليوسين بالاضافة إلى حمض 3 – ميثايل بيوتاريك من الليوسين. ويوضح شكل 3.8 أن البروبيونك يمكن أن ينتج من البايروفيت بالعديد من المسارات البديلة. خلال مسار اللاكتيت وأكرايليت acrylate ويكون هذا سائداً عندما يتضمن غذاء الحيوان المجتر على نسبة عالية من المركزات، وتعمل المسارات خلال السكسينيت succinate عندما يتكون الغذاء أساساً من أعلاف خشنة ليفية. وقد يتراكم اللاكتيت الناتج من المسار الأول في حالة الأغذية المركزة ويهدد الحيوان بحموضة الدم Acidosis.



شكل3.8 تحويل البايروفيت إلى أحماض دهنية طيارة في الكرش

ويوضح الجدول (4.8) تركيزات الأحماض الدهنية الطيارة الثلاثة الرئيسية (VFA) في الكرش. ومن المفترض أن نسبة تركيزات الأحماض الدهنية الطيارة تمثل المعدلات النسبية لإنتاجها (والتي من الصعب جداً قياسها)، ولكن هذا قد يكون غير دقيق عند اختلاف المعدلات التي يمتص عندها كل حمض دهني بمفردة. وتختلف تركيزاتها الكلية اختلافاً واسعاً تبعاً لغذاء الحيوان والوقت الذي انقضى منذ الوجبة السابقة، ولكن مداها يتراوح بين 70 إلى 150 مل جول في الحالات الطبيعية (تعادل 5 – 10 جرام/لتر تقريباً)، وتختلف أيضاً المقادير النسبية لهذه الأحماض. وتعطي الأعشاب (Forages) الليفية الناضجة مخلوطاً من الأحماض الدهنية الطيارة يحتوي نسبة عالية (حوالي 70 %) من حمض الاسيتك، وتميل الأعشاب الأقل نضجاً لإعطاء نسب منخفضة إلى حد ما من الأسيتك ونسب عالية من حمض البروبيونك. كما أن إضافة المركزات إلى الأعشاب تزيد أيضاً نسبة البروبيونك على حساب الاستيك ويكون هذا التأثير قوياً خاصة مع الأغذية التي تحتوي نسبة عالية (0.6) من المركزات. إن تركيز البروبيونك في الأغذية المركزة قد يتجاوز تركيز الاستيك أيضاً، ومن ناحية أخرى وحتى بهذا النوع من الغذاء، يسود حمض الاسيتيك فيما لو وجدت البروتوزوا المهدبة في الكرش. عندما يتكون الغذاء من العشب(Forage) وحده فإن للطحن والتحبيب pelleting له تأثيراً بسيطاً على نسب الأحماض الدهنية الطيارة " VFA "، ولكنه يسبب التحول من الاسيتيك إلى البروبيونك عندما يحتوي الغذاء على مركزات أيضاً، ويوضح الجدول 4.8 أن نسبة حمض البروبيونك أقل تأثراً بالغذاء مقارنة بالأحماض قصيرة السلسلة.

وقد يصل الوزن الكلي الأحماض الناتجة في كرش الأبقار إلى 4 كجم/يوم. و يمتص معظم الحمض الناتج مباشرة من الكرش والشبكية والورقية، بالرغم من أن البعض قد يمر خلال المنفحة (abomasum) ويتم امتصاصه في الأمعاء الدقيقة. بالإضافة إلى أن بعض نواتج هضم الكربوهيدرات في الكرش تستخدم بواسطة الكائنات الحية الدقيقة لتكوين السكريدات المتعددة لخلاياها، ولكن الكميات المارة إلى الأمعاء الدقيقة ربما تكون قليلة وغير ذات معنى.

ويكون معدل الغاز الناتج في الكرش أكثر سرعة بعد الوجبة مباشرة، وفي الأبقار قد يتجاوز 30 لتراً/ساعة. وتكون المكونات النموذجية لغاز الكرش ثاني أكسيد الكربون، 40%؛ الميثان،30 – 40 %، الهيدروجين، 5 %؛ مع نسب قليلة ومتفاوتة من الأوكسجين والنيتروجين (من الهواء الداخل إلى الجهاز الهضمي ingested).

نتج ثاني أكسيد الكربون جزئياً كناتج ثانوي في التخمر وجزئياً بواسطة تفاعل الأحماض العضوية مع البيكربونات الموجودة في اللعاب، أما التفاعل الأساسي والذي يتكون منه الميثان هو اختزال ثاني أكسيد الكربون بواسطة الهيدروجين الذي قد يشتق من الفورمات (Formate). ومن جهة ثانية فان تكوّن الميثان Methanagenesis، هي عملية معقدة تتضمن حمض الفوليك وفيتامين B_{12}. ويتكون حوالي 54. جرام من الميثان مقابل هضم 100 جرام كربوهيدرات وتفقد المجترات 7 % من طاقة غذائها في صورة ميثان (انظر فصل 11).

يُفقد معظم الغاز الناتج عن طريق التجشؤ؛ وإذا تراكم الغاز فإنه يسبب الحالة المعروفة بالنفاخ (التطبل bloat)، و يكون فيه انتفاخ الكرش شديداً لدرجة أنه قد يسبب انهيار الحيوان وموته، وبصفة عامة يحدث معظم النفاخ في أبقار اللبن التي ترعى على الأعشاب النامية والغنية بالبرسيم، وليس في معظمه بسبب زيادة إنتاج الغاز ولكنه قد يكون أيضاً بسبب إخفاق الحيوان في أن يتجشأ. أحياناً يحتجز الغاز في الكرش في رغوة تُشجّع على تكونها مواد موجودة في البرسيم كما إنه من الممكن أيضاً أن يكبح الفعل

الحيوان	الغذاء	مجموع الأحماض الدهنية الطيارة مل مول/ لتر	الأحماض الدهنية الطيارة الفردية (نسب مولارية)			
			الخليك	بروبيونيك	بيوتارك	أحماض أخرى
أغنام	عشب الزوان (**Ryegrass**)، نامي	**107**	**0.60**	**0.24**	**0.12**	**0.04**
أبقار	عشب الزوان (**Ryegrass**)، ناضج	**137**	**0.64**	**0.22**	**0.11**	**0.03**
أبقار	سيلاج اعشاب (**Grass silage**)	**108**	**0.74**	**0.17**	**0.07**	**0.03**
أغنام	دريس برسيم حجازي (**Lucerne hay**)، مقطع	**113**	**0.63**	**0.23**	**0.10**	**0.04**
	دريس برسيم حجازي (**Lucerne hay**)، مطحون	**105**	**0.65**	**0.19**	**0.11**	**0.05**
أبقار	دريس طويل (**0.4**) + مركزات (**0.6**)	**96**	**0.61**	**0.18**	**0.13**	**0.08**

	دريس محبب(0.4) + مركزات (0.6)	140	0.50	0.30	0.11	0.09
أغنام	دريس: مركزات 0.0:1.0	97	0.66	0.22	0.09	0.03
	0.2:0.8	80	0.61	0.25	0.11	0.03
	0.4:0.6	87	0.61	0.23	0.13	0.02
	0.6:0.4	76	0.52	0.34	0.12	0.03
	0.8:0.2	70	0.40	0.40	0.15	0.05
أبقار	شعير (عدم وجود بروتوزوا مهدبة في الكرش)	146	0.48	0.28	0.14	0.10
أبقار	شعير (مع وجود بروتوزوا مهدبة في الكرش)	105	0.62	0.14	0.18	0.06

جدول4.8 الأحماض الدهنية الطيارة في سائل الكرش لأبقار وأغنام غذيت على أغذية مختلفة.

اللاإرادي الذي يتحكم في التجشؤ بواسطة مادة نشطة فسيولوجياً توجد في الغذاء أو تكونت أثناء التخمر. ومن ناحية عملية فإن النفاخ مشكلة خطيرة في المراعي الغنية بالبرسيم في نيوزيلند، حيث يتم إيقافه بواسطة تجريع الأبقار أو رش المرعى بعوامل مضادة للرغوة (anti- foaming agents) مثل الزيوت النباتية. وهناك نوع أخر من النفاخ يسمى تطبل feedlot bloat ويحدث في الأبقار المسمنة تكثيفياً على أغذية تحتوي على الكثير من المركزات وقليل من الغذاء الخشن.

ويعتمد مدى هضم السيليولوز في الكرش بصورة خاصة على درجة تخشّب مادة النبات. الخشبين Lignin وكذلك المادة المرتبطة معه – الكيوتين Cutin، وتكون مقاومة لهجوم البكتيريا اللاهوائية، ومن المحتمل أن يكون ذلك يسبب انخفاض محتوى الأوكسجين وتركيبها المكثف (الذي يحبط التحلل)، ويظهر كذلك أن الخشبين يعيق التحلل السيليولوز والذي يكون مرتبطاً به وبالتالي فان الأعشاب النامية تحتوي على 50 جرام خشبين فقط / كيلوجرام مادة جافة، فقد يهضم 80 % من السيليولوز، ولكن بوجود 100 جرام خشبين/كيلوجرام مادة جافة في الأعشاب الناضجة فان نسبة السيليولوز المهضومة قد تكون أقل من 60%.   وقد تحتوي أغذية المجترات والمبنية على الحبوب على ما مقداره 500جرام/كيلوجرام من النشا (والسكريات)، وقد يتخمر من ذلك أكثر من 90% في الكرش ويهضم الباقي في الأمعاء الدقيقة، ويكون هذا التخمر سريعاً وان الانخفاض الناتج في" pH " لسائل الكرش يعيق الكائنات التي تخمر السيليولوز ومن ثم ينخفض تحلل السيليولوز.

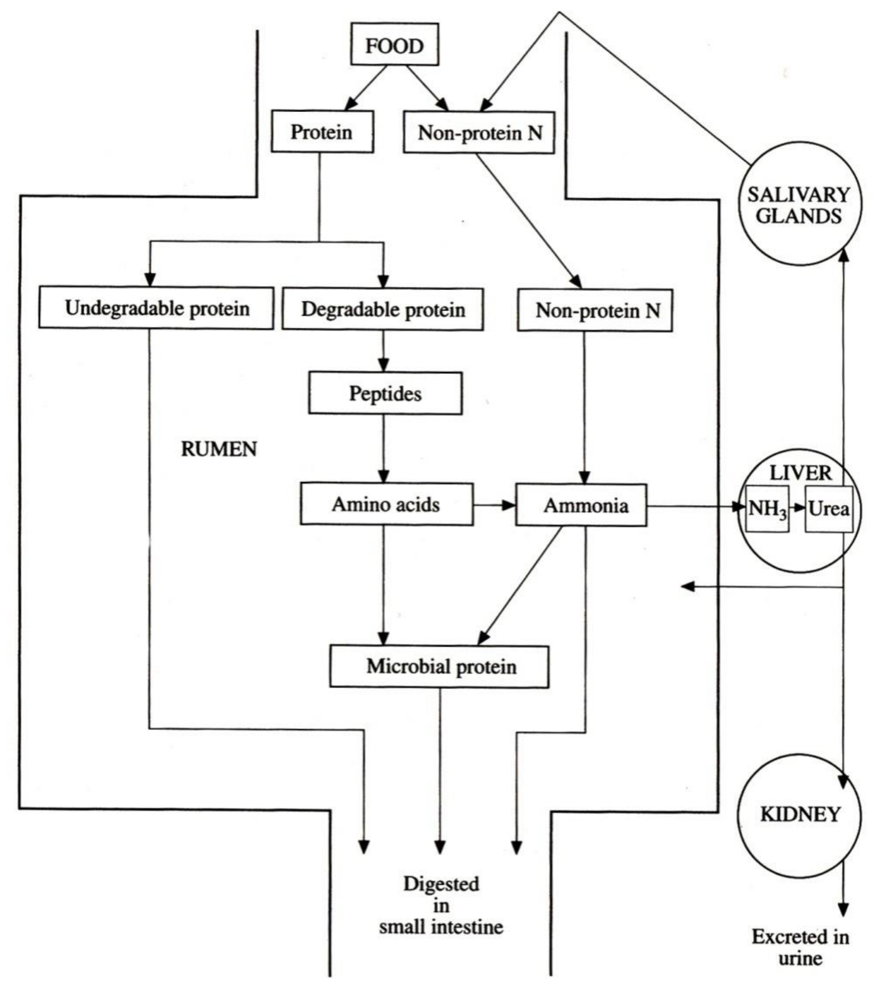
لا جدال في تحلل السيليولوز والسكريات المتعددة المقاومة الأخرى وهو من أكثر العمليات الهضمية التي تحدث في الكرش من حيث الأهمية. بجانب المشاركة في توفير الطاقة للحيوان المجتر، فإنها تضمن تعرض العناصر الغذائية والتي قد تتخطى الهضم إلى فعل الإنزيمات، وبالرغم من أن العامل الرئيسي في العملية هو وجود الكائنات الحية الدقيقة في الكرش، فإن هناك عوامل أخرى لها أهمية. وتمثل محتوياتها الحجم الكبير للكرش عادة من 10 – 20 % من الوزن الحي في المجترات وتسمح بتراكم الغذاء وتضمن تخصيص وقت كاف لتحلل السيليولوز بطريقة بطيئة إلى حد ما. بالإضافة إلى ذلك، فان حركة الكرش والشبكية وفعل الاجترار يلعب دورا في تفكك الغذاء وتعريضه في متناول الكائنات الحية الدقيقة.

هضم البروتين Digestion of protein

إنّ هضم البروتين في الكرش موضح في الشكل 4.8، حيث تتحلل بروتينات الغذاء إلى ببتيدات وأحماض أمينية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في الكرش، ولكن علاوة على ذلك فإن بعض الأحماض الأمينية تتفكك إلى أحماض عضوية، أمونيا (نشادر) وثاني أكسيد الكربون. أن حمض الفالين، الذي ذكر في السابق، والذي تحوّل إلى حمض أيزوبيوتاريك هو مثال على إزالة مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية، لهذا فإن الأحماض ذات السلسلة المتفرعة والتي توجد في سائل الكرش تكون مشتقة من الأحماض الأمينية. تستغل الأمونيا الناتجة، وبعض الببتيدات الصغيرة وكذلك الأحماض الأمينية الحرة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في الكرش وذلك لتكوين البروتينات الميكروبية. عندما تندفع هذه الكائنات إلى المنفحة " abomasum " والأمعاء الدقيقة تُهضم بروتينات خلاياها وتُمتص. ولعلّ الميزة

المهمة في تكوين البروتين الميكروبي أن البكتيريا لها القدرة على تكوين الأحماض الأمينية الضرورية بالإضافة إلى الأحماض غير الضرورية، وبهذا تجعل عائلها غير معتمد على الأحماض الأمينية الضرورية من المصادر الغذائية. إن مدي تحلل البروتين الغذائي إلى أمونيا في الكرش، ومن جهة أخرى فإن مدى تخطئ البروتين للتحلل في الكرش وما يتلوه من هضم في الأمعاء الدقيقة، سوف يناقش في الفصول (10 , 13). ويكفي عند هذه المرحلة التأكيد على انه في معظم الأغذية، أن الجزء الأكبر (وفي بعض الأحيان الكل) من البروتين الواصل الأمعاء الدقيقة للحيوان المجتر سوف يكون بروتيناً ميكروبياً ثابت التركيب تماماً، و يكون الجزء الأقل بروتين الغذاء الذي يتغير في مكوناته من الأحماض الأمينية حسب طبيعة الغذاء.

تعتبر الأمونيا في سائل الكرش المفتاح الوسيط في التحلل الميكروبي وتصنيع البروتين، ففي حالات نقص البروتين في الغذاء أو مقاومة البروتين للتحلل فإن تركيز الأمونيا في الكرش سيكون أقل من (حوالي 50 ملجم/لتر) وينخفض نمو الكائنات الحية الدقيقة؛ ونتيجة ذلك يثبط تحلل الكربوهيدرات، ومن جهة أخرى إذا تواصل تحلل البروتين بسرعة أكثر من تكوّنه، فستتراكم الأمونيا في سائل الكرش وتتجاوز التركيز الأمثل. وعندما يحدث هذا، تمتص الأمونيا إلى الدم وتنقل إلى الكبد وتتحول إلى يوريا (بولينا) (انظر شكل 4.8).



شكل 4.8 هضم و أيض المركبات الأزوتية في الكرش.

وقد يرجع بعض من هذه اليوريا إلى الكرش عن طريق اللعاب وكذلك مباشرة خلال جدار الكرش، غير أن الجزء الأكبر يطرح في البول وبالتالي يُفقد. وتتفاوت تقديرات التركيز الأمثل للأمونيا في سائل الكرش من 85 إلى أكثر من 300 ملجم/لتر، وبدلاً من التعبير

عنها كتركيز في سائل الكرش، فقد يكون أكثر منطقية أن ترتبط الأمونيا بالمادة العضوية القابلة للتخمر، نظراً لأنه من المعروف عند تخمر كل كيلو جرام من المادة العضوية، فإن بكتيريا الكرش تأخذ كمية ثابتة تقريباً من النيتروجين للبروتين والأحماض النووية الخاصة بها (انظر أسفل).

إذا كان الغذاء فقيراً في البروتين وتركيز الأمونيا في سائل الكرش منخفض، فإن كمية النيتروجين التي تعود في صورة يوريا من الدم إلى الكرش (انظر شكل 4.8) قد تتجاوز الممتصة من الكرش في صورة أمونيا. إن صافي النيتروجين هذا والذي تمت إعادته يتحول إلى بروتين ميكروبي، وهذا يعني أن كمية البروتين التي تصل إلى الأمعاء الدقيقة قد تكون أكثر مما في الغذاء، وبهذه الطريقة يكون الحيوان المجتر قادراً على المحافظة على النيتروجين بإعادة اليوريا إلى الكرش بدلاً من خروجها في البول.

بالرغم من أن الهضم هو تحلل الجزيئات المعقدة إلى مواد أبسط منها، فإن الميزة الأساسية في عمليات الهضم عند المجترات هي إنتاج الخلايا الميكروبية ومن ثم تصنيع البروتين الميكروبي. إذا لم يكن هذا التصنيع كافياً ولأي سبب، فسوف يُفقد بروتين الغذاء وبالتالي يصبح الحيوان العائل معرضاً لمخلوط من العناصر الغذائية المهضومة غير المتوازنة فيما يتعلق بالبروتين. ومن ناحية عملية تقوم الكائنات الحية الدقيقة في الكرش بتصنيع البروتين في تناسب مع كميات العناصر الغذائية التي تخمرها، وفي معظم الأغذية فإن هضم كيلوجرام من المادة العضوية ينتج حوالي 200 جرام من البروتين الميكروبي. و تنتج بعض الأغذية سريعة التخمر مثل الأعشاب النامية والتي تكون غنية بالكربوهيدرات الذائبة بروتيناً ميكروبياً

أكثر (يصل إلى 260 جرام/كجم مادة عضوية مهضومة). وخلافاً لما سبق، فإن الأغذية التي تحتوي على مقادير عالية نسبياً من العناصر الغذائية المهضومة وغير قابلة للتخمر في الكرش فإنها تعطي أقل إنتاج من البروتين الميكروبي (حوالي 130 جم/كجم مادة عضوية مهضومة). وتكون الأغذية الغنية بالدهون في هذه الطائفة، لكنها عادة لا تعطي للمجترات. من ناحية ثانية، يحتوي السيلاج على عناصر غذائية قد تخمرت سابقاً أو متخمرة جزئياً؛ ولعلّ حمض اللاكتيك هو أكبر نواتج تخمر السيلاج (انظر الفصل 19)، وبالرغم من انه قد يتأيض إضافياً في الكرش إلا أن إنتاج البروتين الميكروبي في الكرش لكل وحدة من المادة العضوية المهضومة يكون أقل في حالة السيلاج مما هو في الأغذية الأخرى.

لهذا فإن لميكروبات الكرش تأثيراً "توازنياً" على توفر البروتين للحيوان المجتر؛ فهي تكمل، كمياً ونوعياً، بروتينات الأغذية الخشنة ذات النوعية المنخفضة ولكن لها تأثير ضار على المركزات الغنية بالبروتين، وفي الوقت الحاضر من الثابت عملياً الاستفادة من الميزة الإضافية في القدرات التصنيعية لبكتيريا الكرش عن طريق إضافة اليوريا إلى غذاء المجترات (انظر أسفل). التطور الأكثر حداثة، نوقش سابقا، وهو حماية البروتينات عالية الجودة من التحلل في الكرش.

الاستفادة من مركبات النيتروجين غير البروتيني بواسطة المجترات

Utilization of non–protein nitrogen compounds by the ruminant

البروتين الغذائي ليس المساهم الوحيد في مجموع الأمونيا في الكرش. إن ما يقدر بحوالي 30 % من النيتروجين في غذاء المجتر قد يكون في صورة مركبات عضوية بسيطة مثل الأحماض الأمينية، أميدات وأمينات (انظر الفصل 4) أو من مركبات غير عضوية مثل النترات " nitrates ". ومعظم هذه المركبات تتحلل بسهولة في الكرش، ويدخل نيتروجينها في مجموع الأمونيا. ومن الممكن الاستفادة من قدرة الكائنات الحية الدقيقة في الكرش على تحويل المركبات النيتروجينية غير البروتين إلى بروتين وذلك بإضافة تلك المركبات إلى الغذاء. وتعتبر اليوريا هي المادة شائعة الاستخدام ولكن قد تستعمل أيضاً مشتقات اليوريا وحتى أملاح الأمونيوم (أملاح النشادر). ويتم تحلل اليوريا الداخلة إلى الكرش وبسرعة إلى أمونيا بواسطة أنزيم اليورييز البكتيري (Bacterial urease)، ولهذا يكون تركيز الأمونيا في الكرش عرضةً للارتفاع إلى حد كبير، ولأجل دمج هذه الأمونيا وبكفاءة في البروتين الميكروبي هناك حالتان يجب مواجهتها: أولاً يجب أن يكون تركيز الأمونيا اقل من الأمثل (وإلا فإن وصول الأمونيا الناتجة إلى القمة سوف تُمتص بسهولة وتفقد من الحيوان كما تم توضيحه آنفاً)، ثانياً يجب توفر مصدر طاقة متاح للكائنات الحية الدقيقة وذلك لتخليق البروتين. الممارسات العملية والمراد منها مواجهة هذه الحالات تشمل خلط اليوريا بأغذية أخرى (لإطالة فترة تناولها وإزالة مجموعة الأمين منها). يجب أن يكون البروتين المتحلل في الكرش في تلك الأغذية منخفضاً والطاقة سهلة التخمر عالية. ومن المهم تجنب حوادث زيادة استهلاك اليوريا لأن ما يعقبه من سرعة في امتصاص الأمونيا من الكرش يمكن أن يجهد قدرة

الكبد على تحويلها إلى يوريا من جديد، ومن ثم تؤدي إلى وصول تركيز الأمونيا في محيط الدم للمستويات السامة.

استخدمت مشتقات اليوريا في تغذية الحيوان بقصد تأخير تحرر الأمونيا، وتعتبر البيوريت " Biuret " أبطأ تحللا من اليوريا ولكنها تحتاج إلى فترة عدة أسابيع لكي تتأقلم عليها الكائنات الحية الدقيقة في الكرش، ومن جهة أخرى ليس هناك برهان ثابت على أن أي من البيوريت " Biuret " أو Isobutylidene أو مركبات اليوريا مع النشا تتفوق على اليوريا بحد ذاتها.

حمض البوليك " Uric acid " وهو مركب إضافي من المواد النيتروجينية غير البروتينية والتي يمكن استخدامها بواسطة بكتيريا الكرش، ومن ثم بواسطة الحيوان المجتر، يوجد هذا بتركيزات عالية في زرق " excreta " الدواجن، وهذه تجفف في بعض الأحيان لخلطها في الغذاء للمجترات، بالرغم من انه في بعض الدول يمنع أو يحدد استخدام الزرق في الغذاء. التطبيق العملي الواضح لهذه المواد النيتروجينية غير البروتينية كمصادر فعّالة للبروتين سيتم مناقشته في الفصل 23.

هضم الليبيدات Digestim of Lipids

تحتوي الجلسريدات الثلاثية الموجودة في الأغذية المستهلكة من قبل المجترات على نسب عالية من بقايا الأحماض الدهنية غير المشبعة (18 ك)، لينوليك ولينولينك. وتتحلل هذا الجلسريدات الثلاثية على نطاق واسع في الكرش بواسطة الليبيز البكتيري " "bacterial lipases كما هو الحال في الليبيدات الفوسفورية. يتم هدرجة

" Hydrogenation الأحماض الدهنية المشبعة بواسطة البكتيريا وذلك بمجرد تحررها من الارتباط بالاستر، منتجة حمضاً دهنياً أحادي الرابطة الزوجية وأخيراً حمض الستياريك. ويوجد بكل من اللينوليك واللينولينك روابط زوجية في وضع " Cis " ولكن تتحول رابطة زوجية واحدة في كل منهما إلى التوزيع الفراغي "trans" وذلك قبل عملية الهدرجة، ولهذا يمكن اكتشاف أحماض ذات وضع trans في محتويات الكرش. تقوم أيضاً الكائنات الحية الدقيقة في الكرش بتخليق كميات كبيرة من الليبيدات، تشمل بعض الأحماض الدهنية غير المألوفة (مثل تلك التي تحتوي سلاسل متفرعة) وأخيراً يتم دمج هذه الأحماض في دهن لبن وجسم المجترات.

تكون قدرة الكائنات الحية الدقيقة في الكرش على هضم الدهون محدودة جداً، وعادة يكون محتوى الليبد في أغذية الحيوان المجتر منخفضاً (أي < 50 جم/كجم)

وإذا زاد على 100 جم/كجم ينخفض نشاط ميكروبات الكرش وبذلك يتثبّط اختمار الألياف ويتناقص تناول الغذاء. وتؤثر الأحماض الدهنية المشبعة في تخمرات الكرش بدرجة أقل مما تفعله غير المشبعة. أن لأملاح الكالسيوم للأحماض الدهنية لها تأثيراً طفيفاً على تخمرات الكرش وهي تستخدم كإضافات دهنية للمجترات.

الأحماض الدهنية طويلة السلسلة ليست كنظائرها قصيرة السلسلة فهي لا تمتص

مباشرة من الكرش. وعندما تصل الأمعاء الدقيقة يتم غالباً تشبعها وإزالة الرابطة الاستيرية ولكن البعض – في الببتيدات البكتيريا – يتم أسترته.

أسيل الجلايسرول الأحادي Monoacylglycerols والتي تلعب دوراً مهماً في تكوين مخاليط متنوعة (Mixed micelles) في حالة غير المجترات، تكون غير موجودة. أن تكوين المخاليط المتنوعة في القناة الهضمية للمجترات، ومن ثم امتصاص الأحماض الدهنية طويلة السلسلة، يعتمد على الليبيدات الفسفورية في الصفراء bile.

إنه من الممكن في غير المجترات وكما أشير إليه سابقاً تغير مكونات الأحماض الدهنية لدهون الجسم عن طريق تحوير مكونات الدهون الغذائية. و ليس الوضع عادة كذلك في المجترات وان الحمض الدهني السائد في مخزون الدهون في الحيوان المجتر هو حمض السيتاريك الناتج من الهدرجة (إضافة الهيدروجين) في الكرش. ومن ناحية ثانية، من الممكن معالجة الليبيدات الغذائية بطريقة تحميها من هجوم الكائنات الحية الدقيقة في الكرش ولكنها تبقى حسَّاسة للتحلل الإنزيمي وكذلك الامتصاص في الأمعاء الدقيقة، وإذا كانت هذه الليبيدات تحتوي على أحماض دهنية غير مشبعة فإنها ستعدّل مكونات الدهون في الجسم وفي اللبن.

تخليق الفيتامينات Synthesis of Vitamins

لقد تمت الإشارة إلى تخليق كل عناصر فيتامين B المركب و كذلك فيتامين ك بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في الكرش (الفصل الخامس). تكون الكميات المخلّقة صغيرة نسبياً إذا حصلت المجترات على أغذية متوفر بها فيتامين B على الوجه الأكمل، ولكنها تزداد إذا تناقص الفيتامين المتناول في الغذاء، ولهذا فإن المجتر البالغ يكون غير معتمد

على المصدر الغذائي من هذه الفيتامينات، ولكن يجب التنويه إلى أن تخليق فيتامين B_{12} يكون ملائماً فقط عند وجود معدن الكوبلت في الغذاء.

ديناميكية الهضم في المجترات Dynamics of Digestion in ruminants

إن الغذاء والماء الداخل إلى الكرش قد يغادره في صورة مختلفة وبواسطة مسارات مختلفة أيضاً. وقد ينظر إلى الجانب السائل من محتويات الكرش بأنه حوض ذو حجم غير متغير، وان السائل أو المادة المعلقة والداخلة لهذا الحوض تُحدث انسياب حجم مماثل من السائل يخرج خلال فتحة الورقية والشبكية. و يحمل هذا السائل معه مكونات الغذاء السائل والتي تخطّت التخمر، جزيئات ناعمة وعالقة من الغذاء، بكتيريا وكذلك الأحماض الدهنية الطيارة والتي لم يتم امتصاصها خلال جدار الكرش. ويمكن أن يعبر عن عبور السائل خلال الكرش بمعدل التخفيف " *dilution rate* " والذي يعرف بأنه الجزء من حجم السائل الذي يغادر الكرش لكل وحدة من الزمن. يمكن قياس معدل التخفيف بواسطة استخدام دليل ذائب، غير قابل للامتصاص مثل الجلايكول متعدد الايثيلين polyethylene glycol وهو بوليمر ذو وزن جزئي مرتفع، ويتم حقن جرعة منه إلى الكرش وتُسجل التناقص التالي في تركيزه في سائل الكرش. إن 0.03 إلى 0.15 / ساعة هي معدلات تخفيف نموذجية في الأغنام، ولكنها أعلى في الأبقار (تصل إلى 0.2/ساعة). وتكون معدلات التخفيف أعلى في حالة الأغذية الخشنة عنها في المركزات، كلما زاد الاستهلاك. إن زيادة معدل التخفيف بواسطة إضافة الأملاح إلى الغذاء مثلاً وبالتالي زيادة استهلاك الماء يمكن أن يغير

أعداد البكتيريا في الكرش ويحوِّر الهضم، وهكذا فإن زيادة معدل التخفيف عادة يخفض تحلل السيليولوز ويزيد نسبة البروبيونيك في الأحماض الدهنية الطيارة، وقد يؤدي كذلك إلى زيادة كمية البروتين المخلقة لكل وحدة من المادة العضوية المتخمرة " Fermented ". ولو أن معدل التخفيف الأسرع يؤدي إلى إزالة أكثر للجسيمات الناعمة فإن هضم الألياف في الكرش سوف ينخفض، وقد يُصحح هذا بواسطة التخمر في الجزء الخلفي من القناة الهضمية " Hindgut ".

و ستبقى المواد الداخلة إلى الكرش كجسيمات كبيرة في ذلك العضو وقتاً أطول مما هو الحال بالنسبة للجسيمات الصغيرة أو العناصر الغذائية الذائبة وذلك، كما فسر سابقاً بأن الجسيمات الكبيرة يجب تكسيرها بواسطة الاجترار وتهاجم ميكروبياً قبل مغادرتها الكرش. و تعتبر الجسيمات التي يمكنها العبور خلال منخل بفتحات قطرها 1 - 2 مم في حجم صغير يكفيها لأن تغادر الكرش، بالرغم من انه يبدو محتملاً أن الحجم الحرج يجب أن يتفاوت حسب حجم الحيوان (أي انه أكبر للأبقار مما هو للأغنام). وفي الحقيقة، أن عبور الجسيمات من الكرش معقد جداً لأن يفسَّر على أساس أبعاد المنخل فحسب. وغالباً تكون جسيمات الغذاء غير منتظمة الشكل (بمعنى ألياف نباتية طويلة، رقيقة)، وتختلف كذلك في الثقل النوعي.و تميل الجسيمات ذات الثقل النوعي المنخفض إلى التحرك إلى أعلى محتويات الكرش أو الشبكية ومن ثم فهي تحتجز في هذه الأعضاء لفترة أطول من الجسيمات ذات الثقل النوعي المرتفع. أن الفتحة بين الشبكية والورقية ليست منخل وهي كبيرة لتكفي للسماح بمرور جسيمات اكبر من قطر 1-2 مم. ويبدو

أن ما يحدث هو أن كتلة جسيمات الغذاء نفسها تعمل كمنخل وهو ما يعبر عنه a filter " " bed effect –، حيث تقوم الجسيمات الكبيرة بمسك الجسيمات الصغيرة.

ويمكن متابعة مرور جسيمات الغذاء خلال القناة الهضمية عن طريق تمييز بعض من الغذاء باستخدام صبغة أو كشاف كيميائي، ولتقدير مرور البقايا غير المهضومة خلال كل القناة يتم استعادة هذه الجسيمات في الروث ويحصي عددها ويمكن حساب متوسط وقت احتجازها *Retention time*. إن الأغذية التي خلايا جدرانها أكثر تخشباً مثل الألبان لها أوقات أطول في احتجازها داخل الكرش(نموذجياً 50 – 80 ساعة)، بينما الأغذية الأكثر هضماً مثل أعشاب المراعي غير الناضجة أو المركزات فلها أوقات احتجاز اقل (50 30 –ساعة). إن المواد الكاشفة tracers يمكن أيضاً أن تستخدم لقياس معدل عبور *Passage rate* مواد الهضم السائلة والصلبة من الكرش. ويعبر عن هذا عادة كمعدل جزئي وتكون القيم النموذجية للسوائل والمواد الصلبة 0.084 و0.043 /ساعة على التوالي. وتحافظ معدلات المرور السريعة على نقل الهضم من الكرش إلى الأمعاء الدقيقة؛ فهي مثلاً تخفض تكسر البروتين في الكرش وبذلك تزيد البروتين المتاح للهضم ما بعد الكرش (انظر الفصل 13).

الأغذية التي تهضم ببطء (لهذا لها أوقات استبقاء طويلة) تخفض قدرة القناة الهضمية وبالتالي تحد من استهلاك الغذاء عند المجترات (انظر الفصل 17). طحن تلك الأغذية (أي تقليل حجم حبيباتها) يزيد القدرة على الهضم وبالتالي الاستهلاك ولكنه ربما

يضعف كفاءة الهضم لأن الكائنات الحية الدقيقة ليس لها وقت كافٍ لتفكيك جدار الخلية (انظر الفصل 10).

التحكم والتعديل في تخمر الكرش

Control and modification of rumen fermentation

عندما أظهرت البحوث آليات الهضم في الكرش، فقد تمّت محاولات لتحوير نمط الهضم بطرق يستوجب منها تطوير تغذية المجترات. ولعلّ الطريقة الأساسية هي تغيير العشيرة الميكروبية لكي تعوق عمليات غير مرغوبة (مثل تخليق البروتين الميكروبي)، كما أن الطريقة الثانوية هي حماية العناصر الغذائية من التخمر في الكرش لكي يستوجب هضمها في الأمعاء الدقيقة. أثبت عموماً صعوبة تحقيق تغيير في العشيرة البكتيرية خلال إدخال كائنات معينة، وإذا تم تحقيق ذلك فقد فشل في تقديم الفوائد الغذائية. لقد أثبت أن تغيير العشيرة الموجودة عن طريق إضافة مضادات حيوية هو أكثر فعالية، بالرغم من أن استعمال العديد من المضادات الحيوية قد منع بسبب قيمتها في معالجة الأمراض في الإنسان والحيوان واحتمالية أن اتساع تطبيقها سيؤدي إلى تطور أنواع مقاومة من الكائنات المسببة للمرض.

المضادات الحيوية المستخدمة حالياً معظمها من نوع " Ionophore " ومن أمثلتها " monensin " وكذلك " salinomycin " ، وهذه فعالة ضد البكتيريا سالبة التصبغ؛ وعن طريق تحفيز إنتاج البروبيونات وخفض إنتاج الاسيتات acetate والبيوتاريت، فهي تحسن كفاءة الاستفادة من الغذاء في المجترات النامية. تطور حديث آخر هو استخدام مواد عرفت بالبروبيونك (Probiotics)، مثل مزارع الخميرة الحية لحفر النشاط البكتيري في الكرش، هذا

وقد تبين أنها تثبت الرقم الهيدروجيني في الكرش، وتزيد البروبيونات وتقلل إنتاج الخلات acetate وتخفض إنتاج كل من الميثان والأمونيا. إن التطور في الهندسة الوراثية زاد الآمال لتوفير، على سبيل المثال، بكتيريا بقدرات محسنة لتحلل السيليولوز أو كائنات قادرة على تصنيع عناصر غذائية معينة مثل الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت والمطلوبة لنمو الصوف (انظر الفصل 4). ومن جهة أخرى تظل هناك المشاكل لتثبيت تلك الكائنات المحورة في محيط الكرش. لقد ثبت أن عشيرة البروتوزوا في الكرش هي أكثر تأخراً بالتحوير مقارنة بالعشيرة البكتيرية. إن المجترات التي تم تنشئتها بمعزل عن المجترات الأخرى لا تتطور فيها عشيرة البروتوزوا. ويمكن استئصال عشيرة البروتوزا الموجودة وذلك باستخدام أغذية مرتفعة النشا أو بحقن عوامل نزع البروتوزوا

(defaunating agent) مثل كبريتات النحاس. إن Ionophore المونينسين

(monensin) والذي استخدم أساساً لقتل الكوكسيديا في الدواجن أدى أيضاً إلى قتل البروتوزوا في المجترات (بالرغم من وجود بعض الأدلة على قدرة بروتوزوا في الكرش على التأقلم وتحمل هذا المركب monemsin) . إن مساهمة البروتوزوا في الهضم في الكرش ومن ثم في تغذية وإنتاجية المجترات كانت لوقت طويل موضوع جدل وخلاف، وبالرغم من أن للبروتوزوا مساهمة هامة في هضم السكريدات المتعددة، فإنها تبقي في الكرش وبالتالي لها تأثير غير مرغوب على كبح البروتين الميكروبي في الكرش ومنعه من العبور إلى الأمعاء الدقيقة وهكذا فبالرغم من أن إزالة البروتوزوا من الكرش defaunation يخفض هضم السكريدات المتعددة (خاصة الهيميسيليولوز)، فهي تزيد كمية البروتين الميكروبي الذي يصل الإثنى عشر

بحوالي 25 %. إذا لم تتوفر البروتوزوا في الكرش فإن نشاطها في تحلل الألياف تتولاه الفطريات، ومع ذلك توجد بعض الأدلة بأن للبروتوزوا دوراً نافعاً آخر في مساعدة امتصاص معادن الكالسيوم، الماغنيسيوم والفوسفور من القناة الهضمية.

إن الفكرة السائدة على البروتوزوا الكرش انه في حالة قلة البروتين، والأغذية القائمة على العشب (forage) فإن وجود البروتوزوا يكون ضاراً للعائل، وإن إزالتها (defaunation) يمكن أن ترفع إنتاجية الحيوان. وفي حالة الأغذية القائمة على المركزات والمزودة بالبروتين فإن وجود البروتوزوا يكون نافعاً. ومن الغريب، أنه يصعب إبقاء مجترات خالية من البروتوزوا عندما تكون على أغذية خضراء foroge، ويصعب كذلك المحافظة على البروتوزوا بالغذاء المركز. إن الهدف النهائي من التحكم في تخمر الكرش هو تحديد نشاط الميكروبات على مكونات الغذاء التي لا يستطيع الحيوان العائل أن يهضمها بأنزيماته الذاتية (السكريدات المتعددة المرتبطة برابطة بيتا بالدرجة الأولى) أو استخدام مركبات نيتروجينية غير بروتينية بدون التدخل الميكروبي. إن كيفية تحقيق هذا الهدف تقوم على حماية العناصر الغذائية الأخرى (الكربوهيدرات الذائبة مثل النشا والسكريات وكذلك البروتينات عالية الجودة) من التحلل في الكرش. وسوف نرى فيما بعد في هذا الكتاب بأن تخمر السكريات في الكرش لا يكفي لتزويد الحيوان العائل بالطاقة وقد يؤدي به إلى نقص في الجلوكوز. وتقوم وسائل حماية العناصر الغذائية من التحلل في الكرش على المعاملة الكيميائية للأغذية باستخدام التانينات (tannins) أوالفورمالدهيد formaldehyde وتغير تركيب البروتين بالشكل الذي يعرقل مهاجمته ميكروبياً ولكن مع ذلك يسمح بهضمه بواسطة

أنزيمات الهضم في الثدييات. وهناك صعوبات في الوصول إلى الدرجة الدقيقة من الحماية، ومن ناحية أخرى فإن الطريقة الأكثر تطبيقاً لتوصيل البروتينات إلى ما بعد الكرش هو استخدام أغذية غير مألوفة للكائنات الحية الدقيقة في الكرش وبالتالي غير متأقلمة عليها، و تكون هذه أغذية من أصل حيواني بالدرجة الأولى مثل مسحوق السمك. إن حماية الكربوهيدرات الذائبة مثل النشا من التخمر في الكرش يكون أكثر صعوبة، بالرغم من أن النشا في بعض الأغذية (النواتج الثانوية للأرز والذرة بدرجة أقل) يبدو أنها تتخطى التخمر في الكرش. إذا أعطيت المجترات في التغذية المكثفة إضافات طاقة مركزة، ويكون هذا عادة في صورة أحدى أصناف العناصر الغذائية التي تتخطى التخمر في الكرش بصورة طبيعية، تسمى دهون الجليسيريدات الثلاثية.

بالرغم أن لدى الإنسان بعض النجاحات في ترتيب العناصر الغذائية لتتخطى الكرش، فإنه أقل نجاحاً من الطبيعة. إن آلية ميزاب المريء oesophageal groove في المجترات النامية الرضيعة تسمح بأكثر المواد التي يحتويها اللبن بأن تتجنب التخمر في الكرش، مع أن الحمل أو العجل يستهلك أعشاب المرعى ويقوم بهضمها في كرش كاملة الوظيفة. ولقد نجحت على المستوى التجريبي محاولات الإنسان إطالة هذه التجزئة الفعالة إلى عمر النضج في المجترات، ولكنها أخفقت تجارياً بسبب ارتفاع تكلفة اللبن وبدائل اللبن.

أماكن بديلة للهضم الميكروبي Alternative Sites of Microbial digestion

إن كبر الكرش وموقعه في الطرف الأمامي من القناة الهضمية جعله يتفوق كعضو هاضم للأغذية الليفية. ويمكن للكرش، وبسرعة تخزين كميات كبيرة من الأغذية لمضغها واجترارها فيما بعد؛إن تحرر مكونات الخلية في الطور المبكر؛ ويكون لنواتج التخمر الرئيسية فرصة كبيرة لأن تمتص في بقية القناة الهضمية. ومن ناحية أخرى، فإن هذه الميزات للهضم في الكرش تتناقص بالضرر الذي يتسبب من تعرض كل مكونات الغذاء للتخمر، ويمكن التغلب على هذا العيب إذا تأخر التخمر حتى يصل الغذاء إلى الأمعاء الغليظة ولكن تفقد بعض من فوائد الكرش. إن القولون والأعور (Caecum) هي من أجزاء الأمعاء الغليظة التي تعزز مجموعاً ميكروبياً مهماً (شكل 1.8). إن للأعور نهايةً مسدودةً ويكون مزدوجاً في الدواجن وفي بعض الحيوانات فإن جدار كل من الأعور والقولون يكون مبطناً بطبقة خلايا عصارية Succulated، وتعتمد القدرة الهضمية لهذه الأعضاء على نسبة أحجامها إلى بقية القناة حيث أن هذا يحدد الوقت الذي قد تتأخر فيه بقايا الطعام للتخمر. وتختلف المادة الخاضعة للتخمر substrate في الأمعاء الغليظة عن تلك الداخلة إلى الكرش، لأن معظم العناصر الغذائية الأكثر هضماً قد أزيلت وكذلك أضيفت بعض المواد الداخلية (مثل mucopolysaccharides وأنزيمات). ومن ناحية ثانية، وكما أشير إليه سابقاً، فإن الهضم الميكروبي في الأمعاء الغليظة مشابه لما يحدث في الكرش. وتنتج الأحماض الدهنية الطيارة ويتم امتصاصها ويوجد الميثان وغازات أخرى. ويعاد تكوين البروتينات والمصادر غير البروتينية الأخرى (مثل اليوريا من الدم) إلى بروتينات ميكروبية؛ وفي بعض الحالات، ولكن ليس دائماً، تتحلل هذه البروتينات إلى أحماض أمينية والتي قد تمتص. ويتم تخليق

الفيتامينات الذائبة في الماء ويعاد امتصاص الماء والعناصر غير العضوية، ولكن عموماً فإن التخمر في القناة الهضمية الخلفية يكون أقل فعالية من الهضم في الكرش، لأن المواد المهضومة digesta لا تبقى وقتاً كافياً وان العديد من نواتج الهضم (خاصة الأحماض الأمينية والفيتامينات) لا تمتص. ويمكن لبعض أجناس الحيوانات أن تتغلب على المشكلة الأخيرة بممارسة إعادة أكل الروث corophagy، حيث تحترف الأرانب هذه الممارسة بواسطة إنتاج نوعين من الروث، عادي ويكون صلباً ومحبباً (وهذا لا يؤكل) والروث اللين أو ما يسمى (caecotrophes) والذي يحتوي مواد جيدة التخمر من الأعور حيث يتم استهلاكه. و للمجترات قدرة كبيرة على التخمر في القناة الهضمية الخلفية، و يعمل هذا جيداً عندما يؤدي الغذاء أو مستوى التغذية إلى وصول مواد ليفية إلى الأعور (انظر جدول 2.10). ويكون الحصان قادراً على المعيشة على الأعلاف الليفية فقط، ومن ناحية أخرى فهو يختلف عن المجترات بأن له فرصة واحدة فقط لمضغ الغذاء ومن ثم عليه مضغة جيداً عندما يتناوله. وتضاف كميات كبيرة من اللعاب عند هذه المرحلة، ويعادل الغذاء تماماً " buffered " لإتاحة تخمر كمية محدودة في المعدة، ومع ذلك يحدث معظم الهضم الميكروبي في القولون والذي تفوق سعته 60 لتراً وفي الأعور بسعة 25 - 35 لتراً. وتحتوي هذه الأعضاء على البكتيريا والبروتوزوا التي تهضم مكونات الغذاء بطريقة تشابه الكائنات الحية الدقيقة في الكرش. ويوفر التخمر الذي يحدث في القناة الهضمية الخلفية للحصان حوالي 30 % من هضم البروتين الغذائي و 15 - 30 % من الكربوهيدرات الذائبة وحوالي 85 – 75 % من كربوهيدرات جدار الخلية. وتهضم الخيول في الأغذية المتكونة من الدريس

والمركزات حوالي 85 % من المادة العضوية وهو ما يمكن هضمه من قبل المجترات. وتكون القناة الخلفية في الخنزير أقل استطالة مما هي في الحصان فيكون هضم العشب رديئاً، وبرغم ذلك فإن الخنزير يستطيع هضم ما يعادل 50 % من السيليولوز والهيميسيليولوز في الحبوب النجيلية ونواتجها الثانوية. وإذا تخطت حبيبات النشا الهضم في المعدة، كما يحدث عند تغذية الخنازير على البطاطس غير المطبوخة، فسوف تتخمر هذه أيضاً. وبالرغم من أن للدواجن أعورين وقولوناً واحداً حيث تتخمر بقايا الغذاء، فإنها تتحصل على القليل أو لا تتحصل على شيء من تخمرات القناة الهضمية الخلفية إذا تمت تغذيتها على الأغذية المركزة المعتادة. حقاً لقد استُدِل على أن بكتيريا الأمعاء في الدواجن " Flora " هي عائق أكثر من أنها ميزة بما أن الطيور الخالية من الجراثيم (أي التي تم تنشئتها في عزلة وبدون أي كائنات حية دقيقة) تميل للنمو اكبر من الطيور العادية.

مراجع الفصل الثامن

1. Church D C 1976 *Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants*, Vol. 1. *Digestive Physiology*, 2nd edn. Corvallis, Oregon, O and B Books.
2. Czerkawski J W 1986 *An Introduction to Rumen Studies*. Oxford, Pergamon Press.
3. Frape D L 1986 *Equine Nutrition and Feeding*. London, Longman.
4. Freeman B M (ed.) 1983 *Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl*. London, Academic Press
5. Hungate R E 1966 *The Rumen and its Microbes*. New York, Academic Press.
6. Kidder D E and Manners M J 1978 *Digestion in the Pig*. Bristol, Scientechnica.
7. Low A G and Partridge I G (eds) *Current Concepts of Digestion and Absorption in Pigs*. Reading, National Institute for Research in Dairying.
8. Murry R K, Granner D K, Mayes P A and Rodwell V W 1993 *Harper`s Biochemistry* 23rd edn, USA, Appleton & Lange.
9. Moran E T jnr 1982 *The Comparative Nutrition of Fowl and Swine*. *The Gastrointestinal Systems*. University of Guelph, Ontario.
10. Sandford P A 1982 *Digestive System Physiology*. London, Edward Arnold.
11. Swenson M J (ed.) 1984 *Duke`s Physiology of Domestic Animals*. Ithaca, NY, Comstock Publishing Associates.
12. Tsuda T, Yasaki Y and Kawashima R (eds) *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*. New York, Academic Press (Proceedings of the Seventh International Symposium on Ruminant Physiology, Sendai, Japan; see other volumes in this series).
13. Van Soest P J 1982 *Nutritional Ecology of the Ruminants*. Cornvallis, Oregon, O and B Books.

الفصل التاسع

الأيض

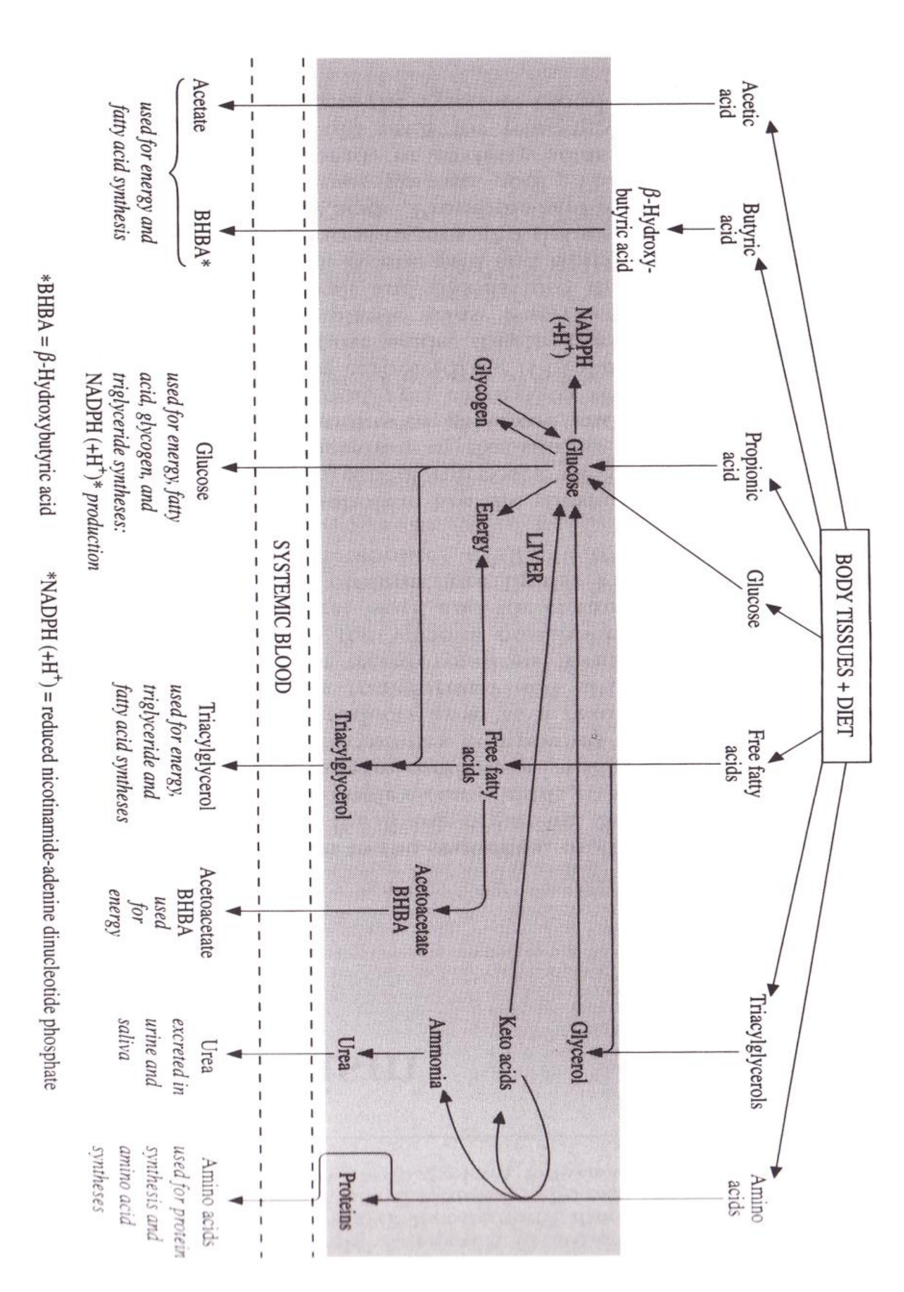
الأيض Metabolism

الأيض اسم يطلق على عمليات كيميائية متتالية أو متعاقبة تحدث في الكائن الحي، وتتضمن بعض هذه العمليات تحلل مركبات معقدة إلى مواد أبسط منها ويخصص لها مصطلح عام وهو الهدم " Catabolism "، أما البناء (Anabolism) فإنه يصف تلك العمليات الأيضية التي يتم فيها تصنيع مركبات معقدة من مواد أبسط منها. وتنشأ منتجات عديمة النفع نتيجة الأيض وهذه يجب تحويلها كيميائياً وفي نهاية الأمر تطرح خارج الجسم؛ وتمثل التفاعلات الضرورية لتلك التحويلات جزءاً من الأيض العام. ونتيجة للعمليات الأيضية المختلفة فإن الطاقة تكون متوفرة للجهد الميكانيكي وللعمل الكيميائي مثل تصنيع الكربوهيدرات والبروتينات والليبيدات، و يلخص الشكل 1.9 مصادر مواد الأيض الرئيسية المتاحة للجسم وأيضها المتتالي.

نقط البداية في الأيض هي المواد الناتجة بواسطة هضم الغذاء. وربما نعتبر لكل الأغراض العملية أن نواتج هضم الكربوهيدرات في حيوانات المعدة البسيطة هي الجلوكوز مع كميات صغيرة جداً من الجالاكتوز والفركتوز وهذه تمتص إلى مجري الدم " Portal blood " وتنتقل إلى الكبد. ويهدم الجزء الرئيسي من الكربوهيدرات في الحيوانات المجترة في الكرش إلى أحماض خليك وبروبيونيك وبيوتاريك مع كميات صغيرة من الأحماض الطيارة ذات السلاسل المتفرعة. ويتغير حمض بيوتاريك خلال مروره عبر جدار الكرش ويعبر إلى مجري الدم في صورة (B-hydroxyl butyric acid,(BHBA ويمر كل من حمض الخليك و BHBA من الكبد خلال الدم الجهازي " Systemic blood" إلى مختلف الأعضاء

والأنسجة حيث يستخدم كمصدر للطاقة والأحماض الدهنية. ويتحول البروبيونيك إلى جلوكوز في الكبد ويرتبط بمجموع جلوكوز الكبد، و ربما يتحول هذا جزئياً إلى جلايكوجين ويخزن اوجزئياً إلى أحماض دهنية، قرائن إنزيمات مختزلة مع L – 3 – phosphate glycerol –ويستخدم لتصنع جلايسرول ثلاثي، والمتبقي من الجلوكوز يدخل مع إمدادات الدم النظامي " Systemic blood supply " وينقل إلى أجزاء الجسم المختلفة حيث يستعمل كمصدر طاقة و كمصدر لقرائن الإنزيمات المختزلة لتصنيع الحمض الدهني ولتخليق جلايكوجين.

ينتج عن هضم البروتين أحماض أمينية وبيبتيدات قصيرة تمتص بواسطة خملات الأمعاء الدقيقة إلى مجري الدم وتنقل إلى الكبد حيث ترتبط بمجموع الأحماض الأمينية. وربما تستخدم لتصنيع البروتين في نفس المكان *in situ* أو ربما تعبر إلى الدم الجهازي حيث تلتحق بالأحماض الأمينية الناتجة بسبب هدم النسيج في توفير المادة الخام لتصنيع البروتينات والمواد النيتروجينية الأخرى ذات الأهمية البيولوجية. ويتم نقل الأحماض الأمينية الزائدة عن هذا الطلب إلى الكبد وتهدم إلى أمونيا وأحماض كيتونية، وربما تستخدم الأخيرة في تصنيع الأحماض الأمينية أو لإنتاج الطاقة. وربما تستخدم بعض من الأمونيا في إضافة مجموعة أمينية amination، ولكن يتحول جميعه وبدرجة خاصة إلى يوريا وأما أن يخرج في البول أو يعاد تدويره في اللعاب. وقد تمتص في الحيوان المجتر كميات كبيرة من الأمونيا من الكرش إلى مجري الدم، وتتحول إلى يوريا بواسطة الكبد ومن ثم تخرج أو يعاد تدويرها خلال اللعاب أو جدار الكرش.



شكل 1.9 مصادر ومصير المواد الرئيسية الناشئة من الأيض في الجسم.

وتدخل معظم الليبيدات الغذائية الأوعية الليمفاوية في شكل كايلوميكرون chylomicrons والتي تدخل أوعية الدم الوريدي venous blood vessels عن طريق القناة الصدرية. ويكون قطر الكايلوميكرون chylomicrons حوالي 500 نانومتر(nm) وذات غشاء ليبوبروتيني رفيع. وربما تتحلل نسبة صغيرة جدا من ثلاثي الجلايسرول في القناة الهضمية إلى جلايسرول وأحماض ذوات أوزان جزيئية منخفضة وهذه تمتص مباشرة إلى مدخل الدم. وتمتص الكايلوميكرونات chylomicrons المتداولة عن طريق الكبد أما ثلاثي الجلايسرول فإنه يتحلل. وربما تهدم في هذه الحالة الأحماض الدهنية التي نتجت للتو مع الأحماض الدهنية الحرة الممتصة في الدم بواسطة الكبد لإنتاج الطاقة أو تستغل لتصنيع ثلاثي الجلايسرول. و من ثم تدخل هذه من جديد مصدر الدم في صورة ليبوبروتين lipoprotein حيث تنقل لمختلف الأعضاء والأنسجة حيث تستخدم لتصنيع الليبيد، لإنتاج الطاقة أو لتصنيع حمض دهني. وباستثناء الحالة في الكبد فإن التحلل يعتبر أساسياً للامتصاص. و تتغير الزيادة في هدم الأحماض الدهنية عن حاجة الكبد للطاقة إلى β – hydroxybutyrate و Acetoacetate والتي تنتقل إلى أنسجة مختلفة وتستعمل كمصادر طاقة.

أيض الطاقة Energy metabolism

الطاقة قد تعرف بأنها القدرة على بذل جهد، وتوجد صور متنوعة من الطاقة منها الكيميائية، الحرارية، الكهربائية والإشعاعية وجميعها قابلة للتبادل بطرق مناسبة. وهكذا فإن الطاقة الإشعاعية للشمس تستغل بواسطة النباتات الخضراء لتنتج مكونات النبات المعقدة

وتخزن كما هي. وتستهلك النباتات بواسطة الحيوان وتُهدم مكوناتها محررة طاقة تستعمل من قبل الحيوان لأداء الجهد الميكانيكي، للنقل، للمحافظة على سلامة أغشية الخلية، للتصنيع ولتوفير حرارة تحت ظروف البرد.

تقليدياً، استخدمت وحدات الحرارة لتُمثل الصور المتنوعة من الطاقة والتي يشتمل عليها الأيض لأن كل الصور قابلة للتحول إلى حرارة. الوحدة الأساسية كانت السعر الكيميائي الحراري " thermochemical calorie " على أساس القيمة السعرية المتولدة من حمض benzoic كمرجع قياسي.

عادة الكيلو كالوري (الكيلو سعر= 1000 سعر) أو الميجا كالوري = 1000000 سعر)، تستخدم عملياً لأن السعر calorie كان صغيراً وغير ملائم. وكان الاتحاد الدولي للعلوم الغذائية واللجنة الوطنية في الاتحاد الدولي لعلوم الفسيولوجيا كانوا قد اقترحا الجول كوحدة طاقة لتستخدم في الدراسات الغذائية، الأيضية والفسيولوجية و تم تبني هذا الاقتراح في جميع الأحوال تقريباً وهو متبع في هذا الكتاب. ويعرَّف الجول بأنه نيوتن / متر، 4.184 جول = 1 سعر

إن التفاعلات الكيميائية التي تحدث في جسم الحيوان تكون مصحوبة بتغيرات في طاقة النظام. الجزء من التغير في الطاقة والمتاح لبذل الشغل ويعرف بتغير الطاقة الحرة يرمز له ΔG. عندما تكون ΔG سالبة يقال بأن التفاعل *exergonic* ويحدث تلقائياً، وعندما تكون ΔG كبيرة وسالبة فإن التفاعل يستمر إلى الاكتمال تقريباً، وعندما تكون ΔG موجبة فإن التفاعل يسمى *endergonic* وتصبح الطاقة الحرة تغذّي إلى الجهاز لكي يتم التفاعل.

وعندما تكون ΔG كبيرة وموجبة ويكون هناك ميل طفيف لحدوث التفاعل. وتكون معظم التفاعلات المصنعة (التصنيعية) في الجسم *endergonic* ويتم الحصول على الطاقة المطلوبة لدفعها من تفاعلات هدمية *exergonic*. و يجب قبل الاستفادة من الطاقة المتحررة من هذه التغيرات في التصنيعات وعمليات الجسم الحيوية الأخرى أن تنشأ بينها رابطة، و تتوفر هذه بواسطة مركبات مساعدة تتولى دوراً في كلتا العمليتين، بحيث تأخذ الطاقة من أحدهما وتنقلها للآخر والنماذج لذلك منها:

(ATP) Adenosine triphosphate ،(GTP) Guanosine triphosphate (CTP) Cytidine triphosphate و(UTP) Uridine triphosphate.

وحتى الآن فإن أكثر هذه النيوكليوتيدات أهمية هو (ATP) ويتكون الأدينوسين من أدينين قاعدة البيورين وسكر D–Ribose، وبإضافة مجموعة فوسفات phosphorylation إلى مجموعة الهيدروكسيل عند ذرة الكربون الخامسة في السكر تعطي " AMP Adenosine monophosphate " انظر الباب 4. وتنتج الإضافات المتكررة لجزيئات فوسفات ADP Adenosine diphosphate ثم " triphosphate ". وتعمل ATP أثناء تفاعلاتها داخل الخلية كمركب مع الماغنيسيوم. وتحتاج إضافة مجموعتي الفوسفات الأخيرتين إلى كمية كبيرة من الطاقة والتي يمكن الحصول عليها مباشرة بتفاعل AMP أو ADP بمادة غنية بالطاقة. على سبيل المثال، فإن إحدى خطوات تحلل الكربوهيدرات هو تغير phosphoenolpyruvate إلى pyruvate والذي يتولد عنه جزيء واحد من ATP تم إنتاجه من ADP.

عندما يحدث إنتاج ATP مباشرة من DP أثناء تفاعل كما في هذه الحالة فإن العملية تعرف بالفسفرة عند مستوى مادة التفاعل Substrate level phosphorylation بدلاً عن ذلك فإن ATP ربما تنتج بطريقة غير مباشرة. معظم التفاعلات البيولوجية تتضمن نزع الهيدروجين من مادة التفاعل ولكن الارتباط النهائي بالأكسجين لتكوين الماء يحدث عند نهاية سلسلة من التفاعلات.

$$
\begin{array}{c} CH_2 \\ \| \\ C{:}O\sim\text{Ⓟ} \\ | \\ COO^- \end{array} + ADP \xrightarrow{Mg^{2+}} \begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ C{:}O \\ | \\ COO^- \end{array} + \boxed{ATP}
$$

Phosphoenolpyruvate　　　　Pyruvate

*

والمثال النموذجي هو نزع الهيدروجين المرتبط مع NAD^+ nicotineamide adenine dinucleotide كما هو مبين في شكل 2.9، لأكسدة isocitrate إلى α - Ketoglutarate، ففي هذا المثال نجد أن الهيدروجين الذي نزع من isocitrate يتم استلامه بواسطة NAD^+ ومن ثم يمر إلى قرين أنزيم فلافين

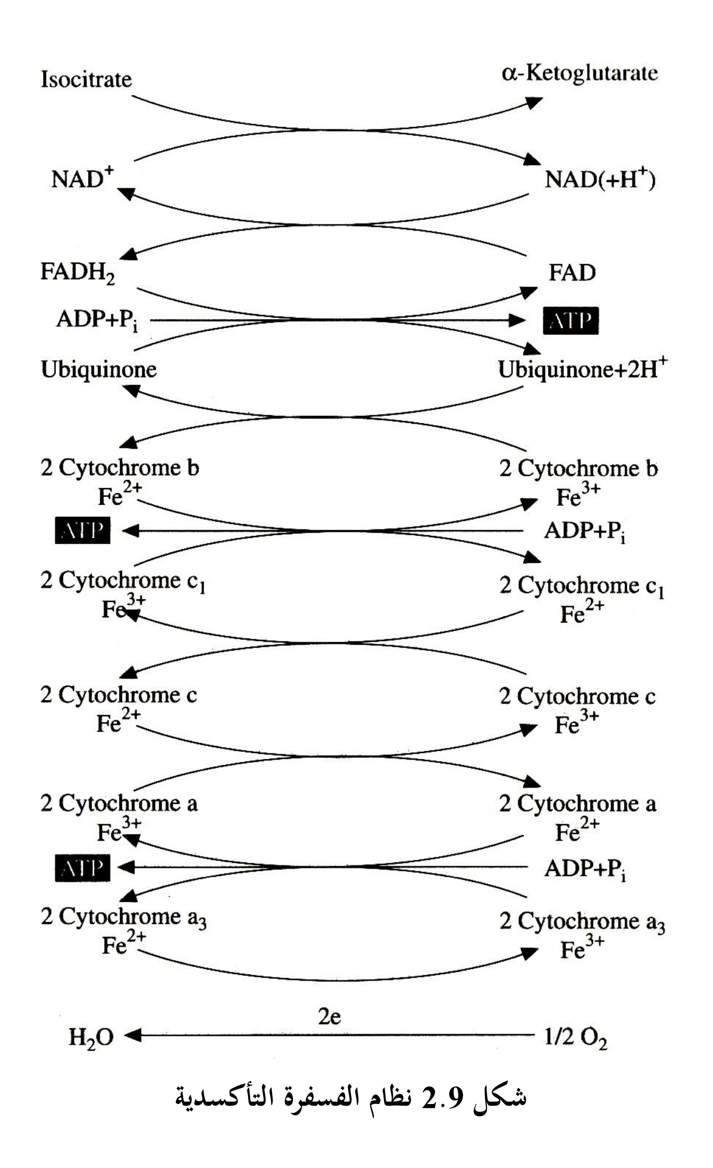
*** على طول هذا الفصل، الطاقة المنفقة يتم توضيحها بصندوق مفتوح (□)، الطاقة المكتسبة يتم توضيحها بصندوق اسود (■)**

" Flavin coenzyme " ويمنح هذا اثنين من الالكترونات إلى ubiquinoone ويتكون بذلك اثنان من البروتونات ($2H^+$). تنتقل الالكترونات بعد ذلك خلال سايتوكرومات متتالية إلى سايتوكروم a_3 والذي يكون قادراً على نقل الالكترونات إلى الأكسجين. ويتحد الأكسجين ذو الشحنة السالبة في النهاية مع بروتونين اثنين منتجاً ماء. وتنتج خلال تشغيل هذا المسار ATP من ADP وفوسفات غير عضوي و سميت العملية الفسفرة والأكسدة "oxidative phosphorylation"، وهي مقتصرة على الميتاكوندريا mitochondria وعلى اختزال NAD^+ المنتجة داخلها. وتشير اعتبارات تحرر الطاقة إلى أن إنتاج ATP يحدث عند نقل الهيدروجين من FAD المختزل إلى ubiquinone وعند نقل الالكترونات من السايتوكرم b إلى c_1 وكذلك من سايتوكروم a إلى سايتوكروم a_3 ويمكن تمثيل سلسلة التفاعلات كما يلي :

$$NADH(+H^+) + O + 3ADP + 3P_i \longrightarrow NAD^+ + 3ATP + H_2O$$

أكسدة جزيء واحد من NAD^+ المختزل تنتج 3 جزيئات ATP من ADP والفوسفات غير العضوي، وكل مول من FAD المختزل ينتج 2 مول من ATP.

وقد تستخدم الطاقة الثابتة في صورة ATP في أداء الجهد الميكانيكي خلال القيام بعمليات الحياة الضرورية في حفظ الحيوان.



شكل 2.9 نظام الفسفرة التأكسدية

يتضمن كل من انقباض واسترخاء العضلة التفاعلات التي تحتاج أن تتزود بالطاقة ويتم توفيرها عن طريق تحلل ATP إلى ADP وفوسفات غير عضوي. قد تستخدم الطاقة الثابتة

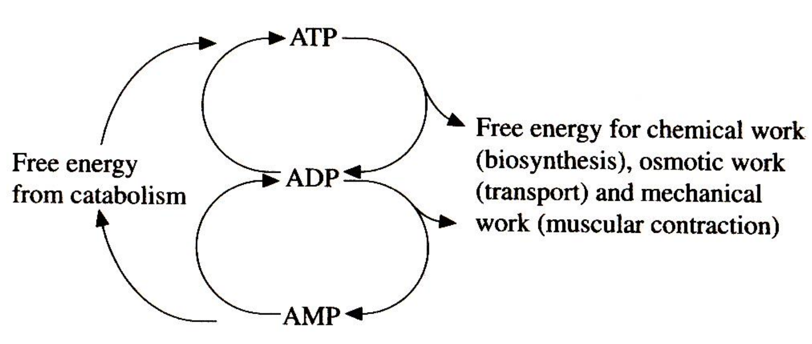
في ATP كذلك في دفع تفاعلات تكون خلالها مجموعة فوسفات منحت لجزيئات مستقبلة كبيرة الاختلاف ومن بين هذه D – glucose:

$$\boxed{ATP} + \text{D-glucose} \rightleftharpoons ADP + \text{D-glucose phosphate}$$

ويزوّد في هذه الطريقة الجلوكوز بالطاقة لتفاعلات تخليقية حيوية متتالية، وتوفر ATP الطاقة في مواقع أخرى مثل المرحلة الأولى من تصنيع الحمض الدهني وتتحلل إلى AMP وفوسفات غير عضوي :

$$\boxed{ATP} + \text{D-glucose} \rightleftharpoons ADP + \text{D-glucose phosphate}$$

وقد يتضح دور ATP في جذب والاستفادة الطاقة بيانياً كما هو مبين في شكل 3.9



شكل 3.9 دور ATP في الاستفادة من الطاقة.

و تختلف كمية الطاقة التي تصبح متيسرة بواسطة شطر مجموعتي الفوسفات الطرفيتين في ATP تبعاً للظروف التي حدثت فيها التحاليل. ويتفق معظم الخبراء على أنه

في ظروف الخلايا السليمة، تكون حوالي 52 كيلو جول/مول ولكنها ستختلف مع pH، تركيز أيونات الماغنيسيوم وتركيزات ATP، ADP والفوسفات.

يشار إلى روابط الفوسفات عامة بروابط الطاقة العالية " High energy bonds " وتمثل بواسطة .Ⓟ~

المصطلح غير دقيق من الناحية الديناميكية الحرارية thermodynamically ويفضل العديد من الباحثين استعمال مصطلح مجموعة عالية الجهد المنقول High group transfer potential. إن تثبيت الطاقة في صورة ATP هي ظاهرة انتقالية كما أن أي طاقة تنتج زائدة عن الاحتياج المباشر تخزن في صورة دائمة في مركبات مثل phosphocreatine في العضلة والذي يتكون من الكيرياتين creatine عند الزيادة في ATP :

$$\underset{\text{Creatine}}{\begin{array}{l}NH_2\\ |\\ C{:}NH_2^+\\ |\\ N.CH_3\\ |\\ CH_2\\ |\\ COO^-\end{array}} + \boxed{ATP} \xrightleftharpoons{\textit{Creatine kinase}} \underset{\text{Phosphocreatine}}{\begin{array}{l}NH\sim Ⓟ\\ |\\ C{:}NH_2^+\\ |\\ N.CH_3\\ |\\ CH_2\\ |\\ COO^-\end{array}} + ADP$$

عندما يكون تزويد الطاقة غير كافٍ لمواجهة الطلبات عليها يتم إنتاج أكثر ATP من مركب phosphocreatine بتفاعل منعكس.

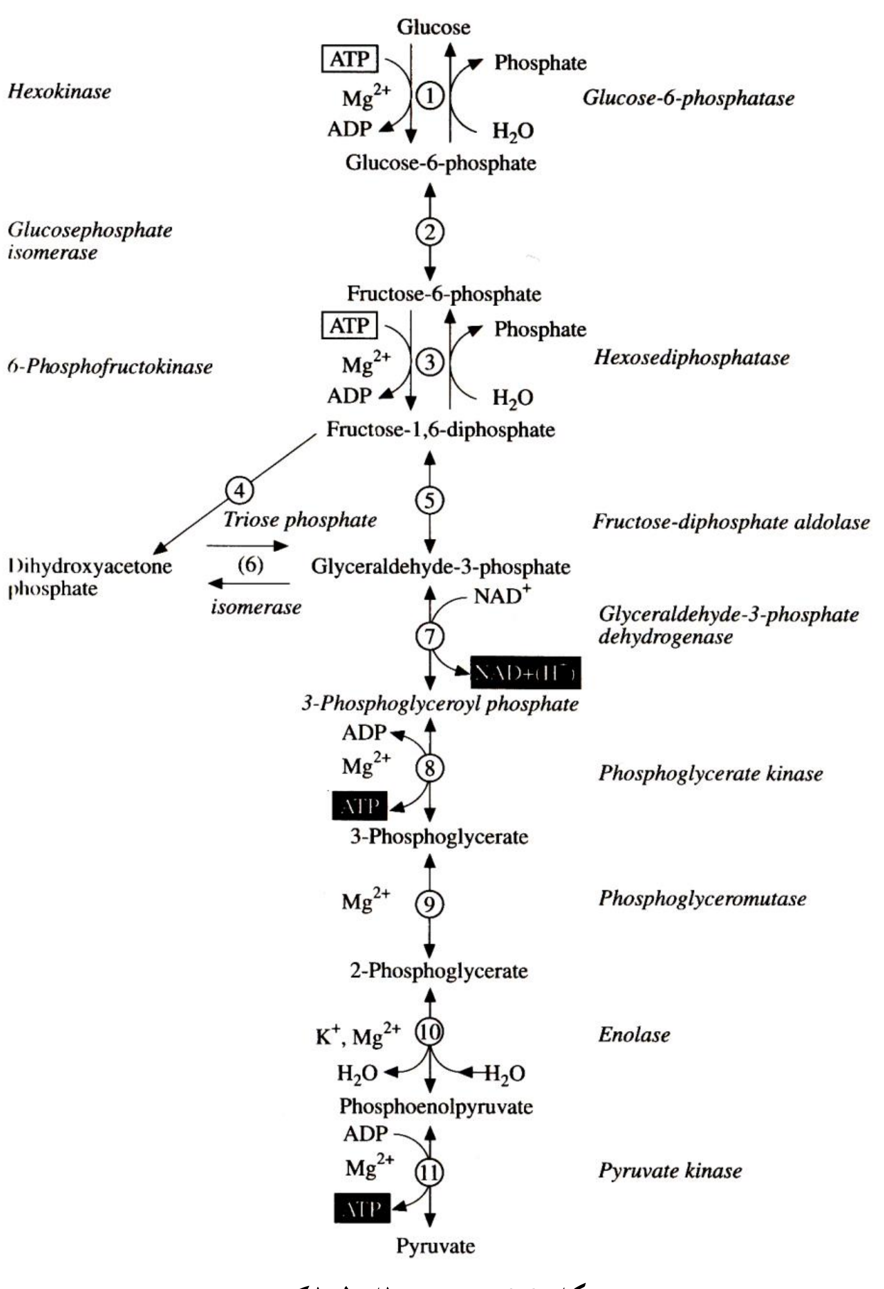
وعلى مستوى مواد مثل Phosphocreatine فهي مخزن ثانوي مؤقت للطاقة. وتخزن معظم الطاقة في الجسم كدهن مخزن مع كميات صغيرة من الكربوهيدرات في شكل جلايكوجين، وبالإضافة إلى ذلك فإن البروتين قد يستخدم لتوفير الطاقة تحت ظروف معينة، وبالإضافة إلى استخدام هذه الطاقة المخزنة يستخلص الجسم الطاقة مباشرة من العناصر الغذائية الممتصة من القناة الهضمية، وأكبرها الجلوكوز.

الجلوكوز كمصدر طاقة Glucose as an energy source

يكون المسار الرئيسي الذي بواسطته يؤيض الجلوكوز ليعطي طاقة في مرحلتين، الأولى وتعرف بتحلل السكر Glycolysis، ويمكن أن تحدث تحت ظروف لا هوائية وينتج عنها إنتاج حمض البيروفيت Pyruvate. سلسلة التفاعلات (شكل 4.9) ويشار إليها عادة بمسار أمبدين مايرهوف Embden-Meyerhof pathway.

وجميع التفاعلات في المسار منعكسة ولكن 1 ، 3 ، 8 ، 11 لها قيم ΔG كبيرة سالبة تحت الظروف الفسيولوجية وهي بالضرورة غير منعكسة. استخدمت 2 مول ATP في عمليات الفسفرة الأولية في خطوات 1 و 3 حيث يتحلل فركتوز ثنائي الفوسفات الذي تكوّن إلى حد الآن لينتج 2 مول من Glyceraldehyde 3 – phosphate وبالتالي ينتج مول واحد من ATP في كل من الخطوات 8 و 11. وهكذا تنتج أربعة مولات من ATP من مول واحد من الجلوكوز وحيث أن 2 مول ATP استنفذت فإن صافي إنتاج ATP

من ADP يكون 2 مول لكل مول جلوكوز. أما تحت الظروف الهوائية فإن NAD^+ المختزل والناتج في خطوة 7 ربما يتم أكسدته خلال مسار الفسفرة التأكسدي Oxidative phosphorylation وينتج 3 مولات ATP لكل قرين إنزيم مختزل، وبالتالي فإنه تحت الظروف الهوائية يتم إنتاج 8 مولات من ATP لكل مول من الجلوكوز وتحت الظروف الهوائية أيضاً يتأكسد pyruvate إلى ثاني أكسيد كربون وماء وإنتاج إضافي من الطاقة.

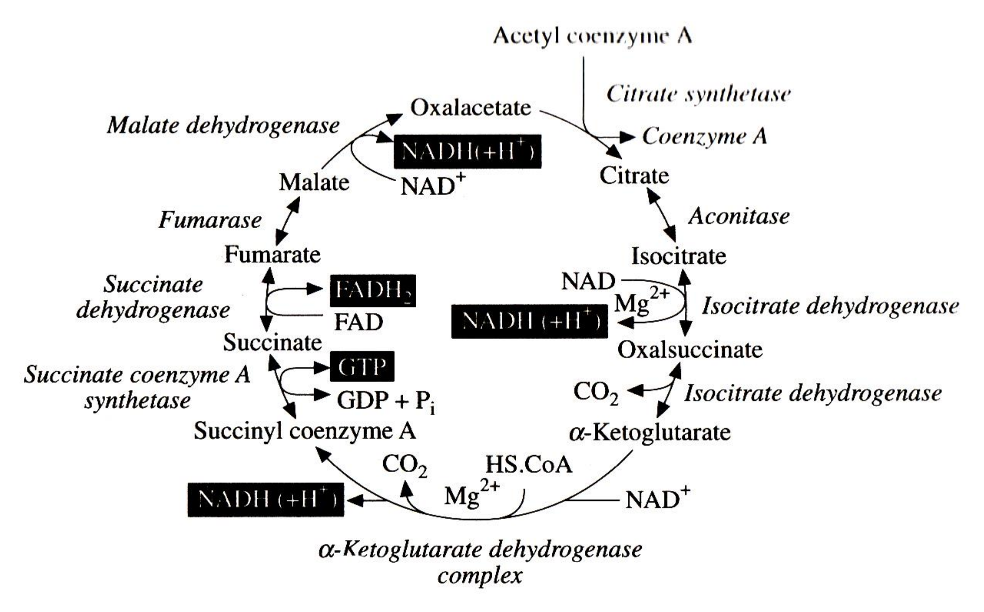


شكل 4.9 مسار تحلل الجلوكوز

ولعلّ الخطوة الأولى في هذه العملية هي أكسدة ونزع ثاني أكسيد الكربون في وجود ثيامين ثنائي فوسفات thiamin diphosphate:

$$\underset{\text{Pyruvate}}{CH_3\text{—}C{:}O\text{—}COO^-} + \underset{\text{Coenzyme A}}{HS.CoA} \xrightarrow[NAD^+ \rightarrow NADH\ (+H^+)]{\textit{Pyruvate dehydrogenase}} \underset{\text{Acetyl-coenzyme A}}{CH_3\text{—}COS.CoA} + CO_2$$

يتم إزالة الهيدروجين بواسطة مسار NAD^+ طبيعي وينتج عن ذلك ثلاثة مولات ATP من ADP، بعد ذلك يتأكسد Acetyl COA إلى ثاني أكسيد الكربون والماء عبر دوره الحمض ثلاثي الكربوكسيل (Tricarboxylic acid cycle) كما هو موضح في شكل **5.9**.



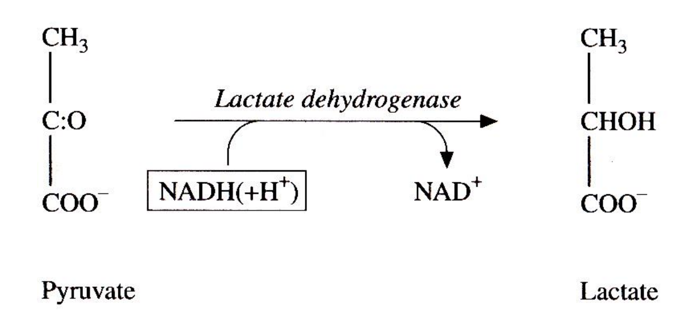
شكل 5.9 دورة الاحماض ثلاثية الكربوكسيل

ويتضمن ذلك إزالة الهيدروجين في أربع خطوات، ثلاث منها مترابطة مع NAD^+ وواحدة مع FAD. إضافة إلى ذلك ينشأ مول واحد من ATP مباشرة بتغير Succinyl – Coenzyme إلى succinate، وهكذا فإن أكسدة كل مول من pyruvate يتولد عنه15 مول من ATP والناتج الإجمالي من ATP نظير أكسدة مول جلوكوز واحد يكون:

	عدد مولات ATP	
	+	−

1مول جلوكوز إلى 2 مول بايروفيت	**10**	**2**
2 مول بايروفيت إلى 2 مول اسيتيل قرين أنزيم A	**6**	**0**
2 مول اسيتيل قرين أنزيم A إلى ك أ$_2$ + يد أ$_2$	**24**	**0**
إجمالي لكل مول جلوكوز (صافٍ)	**38**	

ويمكن احتساب اكتساب الطاقة المتمثلة في تكوين 38 رابطة فوسفات ذات طاقة عالية هكذا: $38 \times 52 = 1976$ كيلو جول/مول جلوكوز وحيث أن إجمالي محتوى الطاقة الحرة من الجلوكوز 2870 كيلو جول / مول، بالتالي فإن كفاءة الطاقة الحرة المحتجزة بواسطة الجسم $\frac{1976}{2870} = 0.69$. وتفترض مثل هذه الحسابات اقتران كامل في التفاعلات وظروف بيئته قياسية في الخلية. يحدث تحلل السكر Glycolysis في العصارة الخلوية Cytosol بينما نزع ثاني أكسيد الكربون من البايروفيت وما يتبعها من أكسدة اسيتيل قرين أنزيم A عبر دورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل تتم في نسيج المايتوكندريا " mitochondrial matrix ". ولا يتوفر الأكسجين تحت الظروف اللاهوائية، لأكسدة NAD^+ المختزل بواسطة الأكسدة والفسفرة، ولكي يسمح بتحرر كمية صغيرة من الطاقة عن طريق مواصلة تحلل الجلوكوز إلى بايروفات Pyruvate يجب تحول NAD^+ المختزل إلى الصورة المؤكسدة وإذا لم يتم ذلك فإن خطوة 7 في شكل 4.9 سوف لا تحدث ويتوقف إنتاج الطاقة. وقد يتم أكسدة NAD^+ المختزل تحت تلك الظروف التي يتكون فيها اللاكتيت من البايروفيت في وجود أنزيم Lactate dehydrogenase:

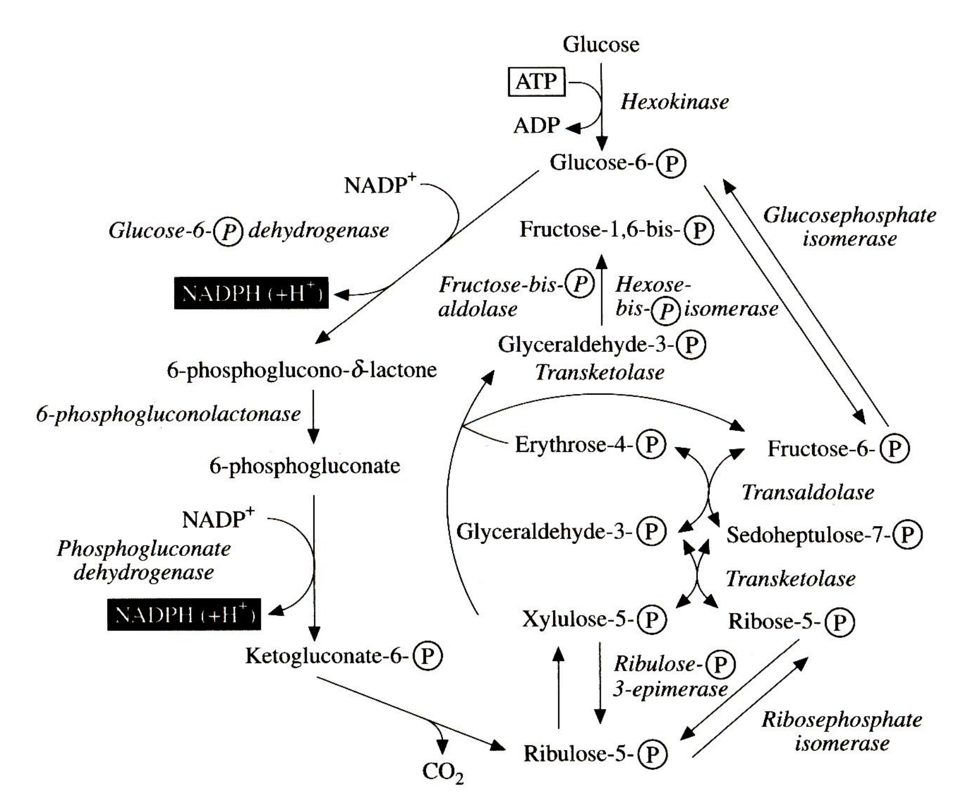


عندما يستخدم الجلوكوز كمصدر طاقة تحت الظروف اللا هوائية حيث يتراكم اللاكتيت lactate و ينتشر أخيراً إلى مجرى الدم ويُنقل إلى أنسجة عالية التهوية مثل القلب والكبد وهنا ربما يتعرض إلى تحلل بالأكسدة أو قد يعاد تحويله إلى جلوكوز. وتقترح الأدلة الحديثة بأنه حتى في أنسجة العضلة الهوائية الراقية يتم تحول معظم الجلوكوز المستخدم للطاقة إلى لاكتيت Lactate.

وثمة مسار آخر يؤيض به الجلوكوز داخل الجسم وهو معروف كثيراً بمسار فوسفات البنتوز، مسار أكسدة فوسفوجلوكنيت وتحويلة هكسوز فوسفات

The phosphogluconate oxidative pathway , pentose phosphate pathway
The hexose phosphate shunt

بالرغم من أن النظام الذي يتم فيه تحلل السكر glycolysis ودورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل tricarboxylic acid cycle هو المسار الرئيسي لأيض الجلوكوز في الجسم إلا أن مسار فوسفات البنتوز له أهمية كبيرة في عصارة الخلية cytosol في الكبد والنسيج الدهني وغدد الإدرار اللبنية ويوضح الشكل 6.9 خطوات هذا المسار



The pentose phosphate pathway **6.9 شكل**

إن النتيجة النهائية في هذه السلسلة من التفاعلات هو إزالة ذرة كربون واحدة من الجلوكوز في صورة ثاني أكسيد الكربون وإنتاج 2 مول من $NADP^+$ المختزل.

ويمكن تمثيل أكسدة مول واحد من الجلوكوز كما يلي:

$$\text{Glucose-6-phosphate} + 12NADP^+ \longrightarrow 6CO_2 + PO_4^{3-} + 12NADPH(+H^+)$$

$NADP^+$ المختزلة لا تشبه NAD^+ المختزلة فهي لا تخضع للأكسدة والفسفرة لتنتج ATP والوظيفة الرئيسية لمسار فوسفات البنتور هو لتوفير $NADP^+$ مختزلة لأنسجة ذات احتياج معين لها وخاصة تلك النشطة في تخليق الأحماض الدهنية. $NADP^+$ المختزلة ممكن أن تتحول إلى NAD^+ المختزلة عبر An energy – linked transhydrogenase وبالتالي تعمل وبشكل غير مباشر كمصدر ATP .

الجلايكوجين كمصدر طاقة Glycogen as an energy source

تحرر الطاقة من الجلايكوجين في صورة قابلة للاستعمال تستوجب تحلله إلى جلوكوز والذي يتفكك بعد ذلك كما وصف سابقاً . إن تحلل الجلايكون داخل الخلية يحدث خلال فعل الفوسفات غير العضوي وإنزيم glycogen phosphatase ويحفز هذا الإنزيم فك الروابط الجلايكوسيدية (glycosidic linkages – 4 , 1) في الجلايكوجين (فصل 2)، ويبدأ التفكك عند النهاية غير المختزلة من السلسلة. وتتحرر جزيئات جلوكوز1- فوسفات على التوالي إلى أن يقترب من نقطة التفرغ. وعند ذلك يحدث إعادة ترتيب الجزيء في وجود إنزيم Oligotransferase وينتج دكسترين محدود متصل به جلوكوز برابطة1 , 6 عند نهايته الطرفية. وينتج عن التفاعل عند الرابطة1 , 6 بواسطة إنزيم – 6 – 1 – Oligo glucosidase جلوكوز حر وينتج كذلك جلوكوز 1- فوسفات عن طريق نشاط إضافي لإنزيم phosphorylase. النتيجة النهائية لتحلل الجلايكوجين هو إنتاج جلوكوز – 1 - فوسفات مع قليل من الجلوكوز.

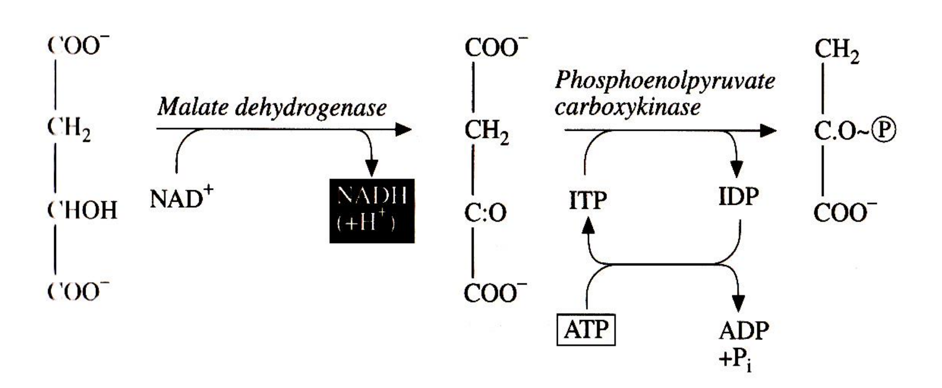
حيث يتحول جلوكوز -1- فوسفات بواسطة إنزيم phosphoglucomutase إلى جلوكوز - 6 - فوسفات والذي يدخل مسارات Embden - meyerhof أو pentose phosphate كما يعمل الجلوكوز المتبقي. أن إنتاج جلوكوز - 6 - فوسفات من الجلوكوز لا

يتضمن استهلاك في ATP باستثناء تلك المستخدمة في تحويل الجلوكوز المتبقي إلى جلوكوز – 6 – فوسفات، ولهذا فإن كفاءة إنتاج الطاقة من الجلايكوجين أكثر قليلاً من كفاءة إنتاجها من الجلوكوز.

حمض البروبيونك كمصدر طاقة Propionic acid as an energy source

تنتج كميات كبيرة من البروبيونات في الحيوانات المجترة، وذلك من تحلل الكربوهيدرات في الكرش. ويمر هذا الحمض بعد ذلك عبر جدار الكرش ويتحول قليل منه إلى لاكتيت ويحمل الباقي إلى الكبد حيث يتغير إلى جلوكوز. المرحلة الأولى في هذه العملية هي التحول إلى succinyl coenzyme A (شكل 7.9)، و يدخل هذا دورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل ويتحول إلى malate (شكل 5.9) وينتج عن ذلك ما يعادل ثلاثة مولات من ATP .

ينقل malate إلى العصارة الخلوية (cytosol) حيث يتحول إلى oxalacetate ومن ثم إلى " phosphoenolpyruvate "كما هو موضح أدناه:



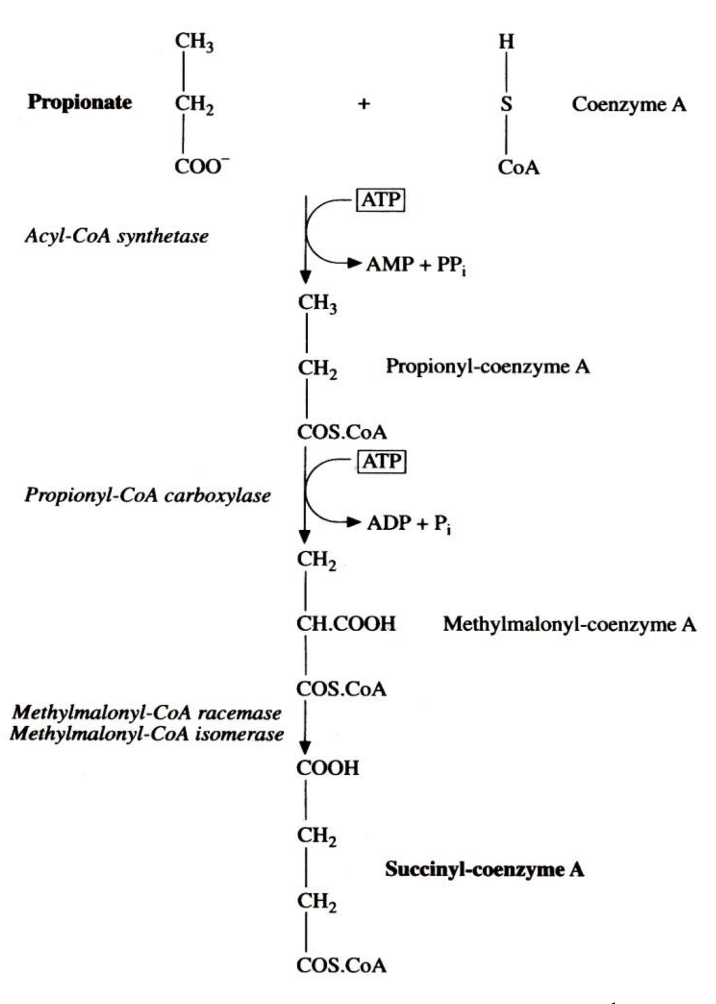
Malate Oxalacetate Phosphoenolpyruvate

قد يتحول phosphoenolpyruvate (PEP) إلى فركتوز ثنائي فوسفات بواسطة انعكاس الخطوات 10, 9 ,8, 7 و 5 في تسلسل تحلل السكر الموضح في شكل 4.9 ومن ثم يتحول هذا الأخير إلى فركتوز – 6 - فوسفات بواسطة أنزيم Hexo – diphosphatase ثم إلى جلوكوز 6 - فوسفات بواسطة انعكاس الخطوة 2 وأخيراً إلى جلوكوز بواسطة أنزيم Glucose – 6 – phosphatase، وقد يستخدم هذا الجلوكوز أخيراً لتوفير الطاقة وربما نحصر بيان اتزان الطاقة كما يلي:

	مولات +	ATP -
2 مول بروبيونيت إلى 2 مول سكسينايل قرين أنزيم A	0	6
2 مول سكسينايل قرين أنزيم A إلى 2 مول ماليت	6	0
2 مول مالبت إلى 2 مول فوسفواينول بايروفيت	6	2
2 مول فوسفواينول بايروفيت إلى 1 مول جلوكوز	0	8
1 مول جلوكوز إلى ثاني أكسيد الكربون والماء	38	0
الإجمالي	50	16
صافي المكتسب من ATP	34	

لهذا فإن هناك مكتسباً صافياً قدره 17 ATP لكل مول من حمض بروبيونيك. كما تكون كمية قليلة من البروبيونات موجودة في مصدر الدم السطحي peripheral blood supply و قد تظهر هذه بسبب عدم إزالته بالكامل أو من تأكسد أحماض دهنية ذوات عدد فردي من ذرات الكربون. ويمكن تصور ذلك البروبيونيت بأنه قد استغل مباشرة لإنتاج الطاقة. كما يمكن أن يشابه المسار ما تم وصفه فيما يتعلق بمركب فوسفو اينول بايروفيت

عبر Embden – Meyerhof phophoenolpyruvate، وبذلك فإن هذا سيتبع مسار البايروفيت، أسيتل قرين أنزيم A ودورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل وفي ما يلي بيان ميزانية هذه العملية:



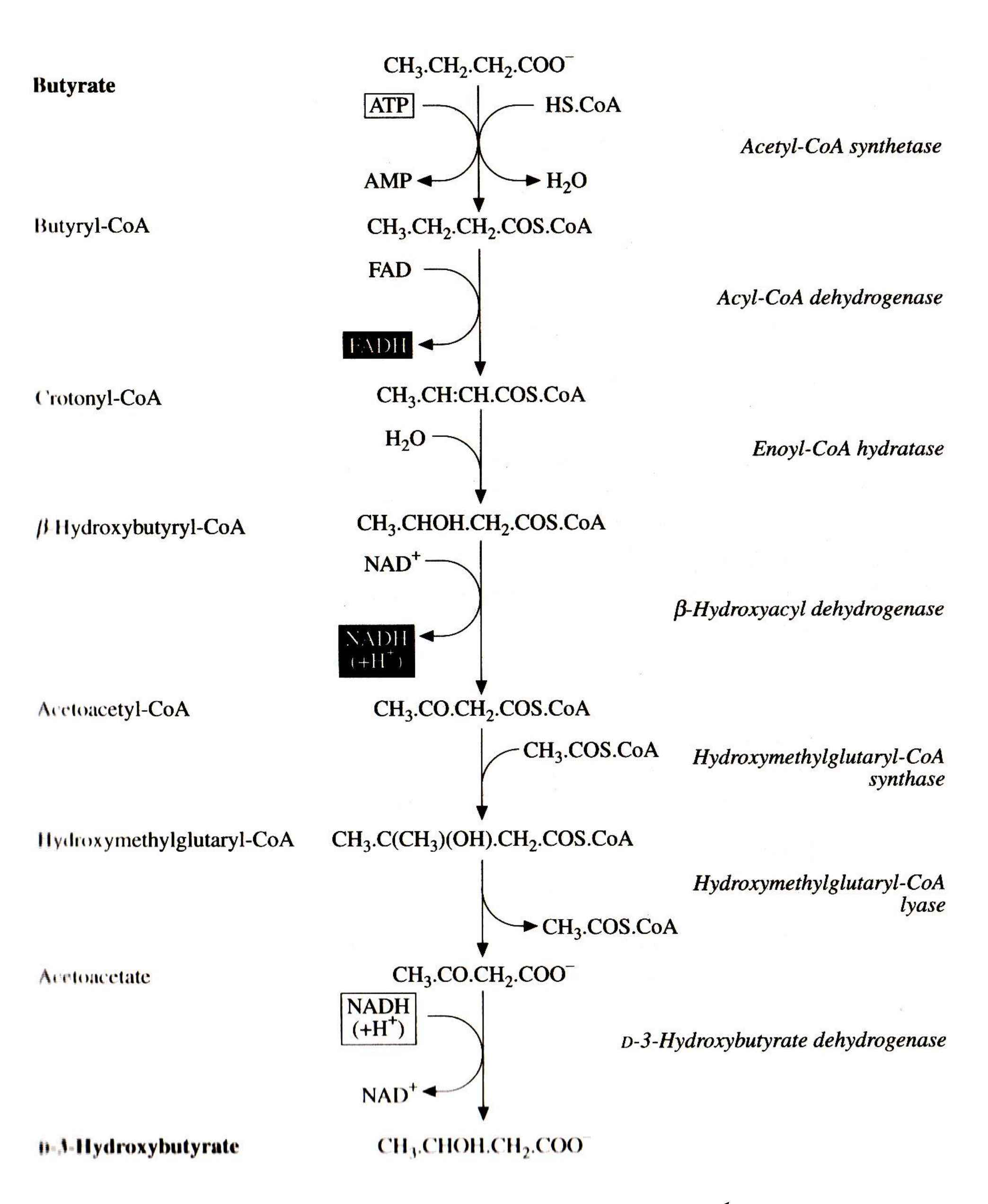
شكل 7.9 تحويل البروبيونيت الى ساكسينايل قرين انزيم A

ATP -	مولات +	
3	0	1 مول بروبيونيت إلى 1 مول سكسينيل قرين إنزيم A
0	3	1 مول سكسينيل قرين إنزيم A إلى 1 مول ماليت
1	3	1 مول ماليت إلى 1 مول فوسفو اينول بايروفيت
0	4	1 مول فوسفو اينول بايروفيت إلى 1 مول أسيتيل قرين إنزيم A
0	12	1 مول أسيتيل قرين إنزيم A إلى ثاني أكسيد الكربون والماء
4	22	الإجمالي
	18	صافي المكتسب من ATP

وهكذا فإن لهذا المسار كفاءة أكثر إلى حد ما من مساره خلال الجلوكوز.

البيوتريت كمصدر للطاقة Butyrate as an energy source

يتحول حمض البيوتريك المنتج في الكرش إلى α- hydroxylbutyrate (D–3–hydroxyl butyrate) وذلك عند مروره عبر جدار الكرش وجدار الورقية ومسار هذا التحول موضح في شكل 8.9.

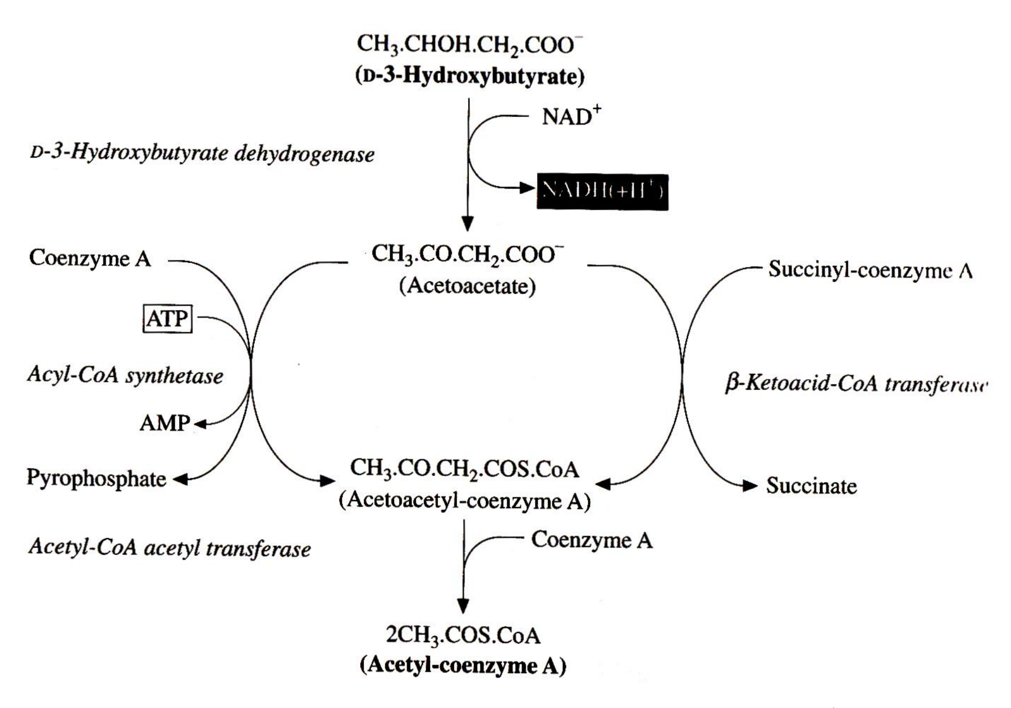


شكل 8.9 إنتاج 3-هايدروكسي بيوتيريت من البيوتيريت

قد يستخدم بعد ذلك D – 3 – hydroxybutyrate كمصدر للطاقة بواسطة عدد من الأنسجة أبرزها العضلة الهيكلية وعضلة القلب Skeletal and heart muscle، التفاعلات المتضمنة في إنتاج الطاقة موضحة في شكل 9.9. يؤيض اسيتيل قرين إنزيم A عن طريق دورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل وربما نستطيع أن نحسب الطاقة المتحررة من البيوتريت بواسطة مسار إنزيم synthetase كما يلي:

	مولات +	ATP -
1 مول بيوتريت إلى **1** مول دي – **3** – هيدروكسي بيوتريت	**5**	**5**
1 مول دي – **3** – هيدروكسي بيوتريت إلى **2** مول اسيتيل قرين إنزيم **A**	**3**	**2**
2 مول اسيتيل قرين إنزيم **A** إلى ثاني أكسيد الكربون والماء	**24**	**0**
الإجمالي	**32**	**7**
صافي المكتسب من **ATP** لكل مول حمض بيوتريك	**25**	

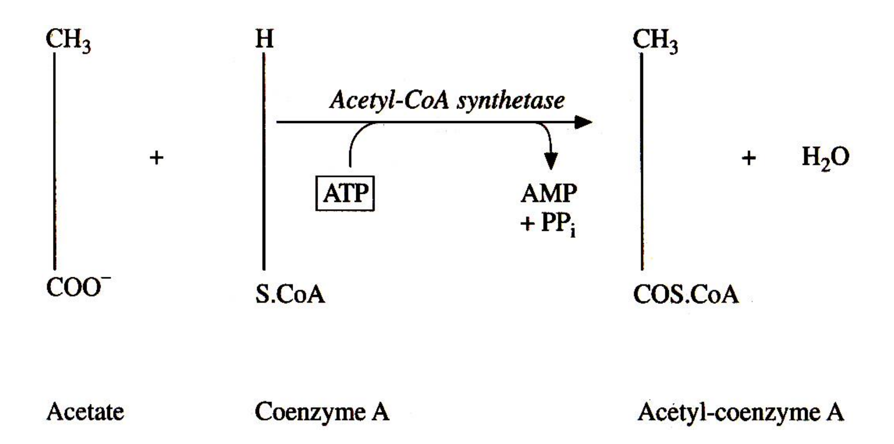
إذا حدث تغير اسيتو اسيتيت إلى اسيتو اسيتيل قرين إنزيم A عن طريق مسار سكسينيل قرين إنزيم A يكون هناك توفير 2 مول ATP ويكون صافي المكتسب من ATP لكل مول حمض بيوتريك يعادل 27 من روابط فوسفات ذات الطاقة العالية.



شكل 9.9 تكوين اسيتايل قرين انزيم A من 3– هايدروكسي بيوتيريت

حمض الخليك كمصدر للطاقة Acetic acid as an energy source

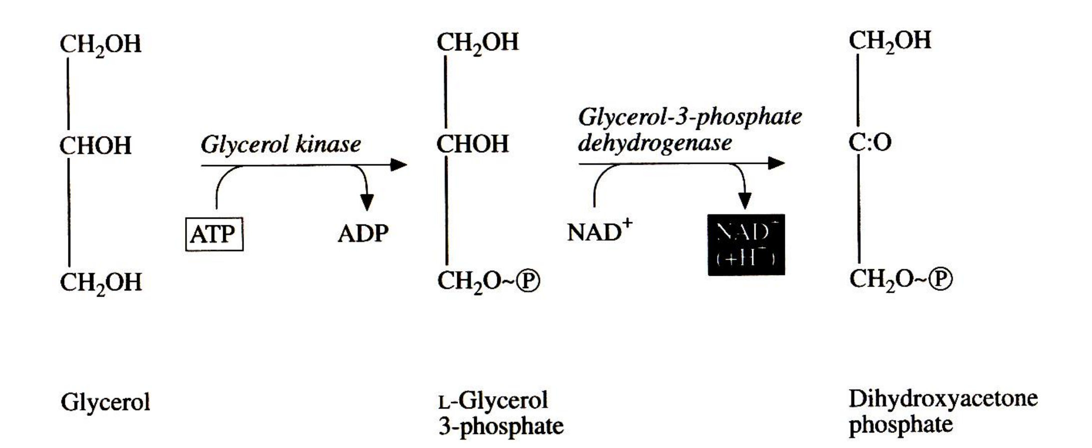
حمض الخليك هو الناتج الرئيسي من هضم الكربوهيدرات في المجترات وهو الحمض الطيّار الوحيد الموجود في الدم السطحي peripheral blood بكميات ذات قيمة حيث يستخدم كمصدر طاقة بواسطة أنسجة كثيرة متنوعة. ولعلّ التفاعل المبدئي في هذه الحالة هو تحول الاسيتيت إلى اسيتيل قرين إنزيم A في وجود إنزيم Acetyl-coenzy A synthetase



ويدخل اسيتيل قرين إنزيم A دورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل منتجاً 12 مول منATP لكل مول أسيتيت وحيث أن هناك 2 مول من الروابط الفوسفاتية عالية الطاقة قد استخدمت في التفاعل المبدئي بتوسط إنزيم synthetase، فإن الناتج الصافي من ATP يكون 10 مول لكل مول من الاسيتيت.

الدهن كمصدر للطاقة Fat as an energy source

يحرّك مخزون الجلايسرول الثلاثي في الجسم لتوفير الطاقة وذلك بواسطة إنزيمات الليباز Lipases والتي تحفز إنتاج الجلايسرول والأحماض الدهنية. الجلايسرول مولد للسكر glycogenic ويدخل مسار تحلل السكر Glycolysis (انظر شكل 4.9) في صورة داي هيدروكسي اسيتون فوسفات (اسيتون ثنائي الهيدروكسيل الفوسفاتي) Dihydroxyacetone phosphate ويتم إنتاجه كما هو موضح في التفاعلات التالية:



ومن ثم قد ينتج الجلوكوز بواسطة انعكاس تفاعل aldolase ليعطي فركتوز - 1 – 6 – ثنائي فوسفات والذي بدوره يتحول إلى جلوكوز بواسطة فعل إنزيمات Hexose diphosphatase , Glucose – 6 – phosphate isomerase و Glucose – 6 – phosphatase – فإذا استخدم هذا الجلوكوز لإنتاج طاقة فإننا قد نقيم كفاءة الجلايسرول كمصدر طاقة كما يلي:

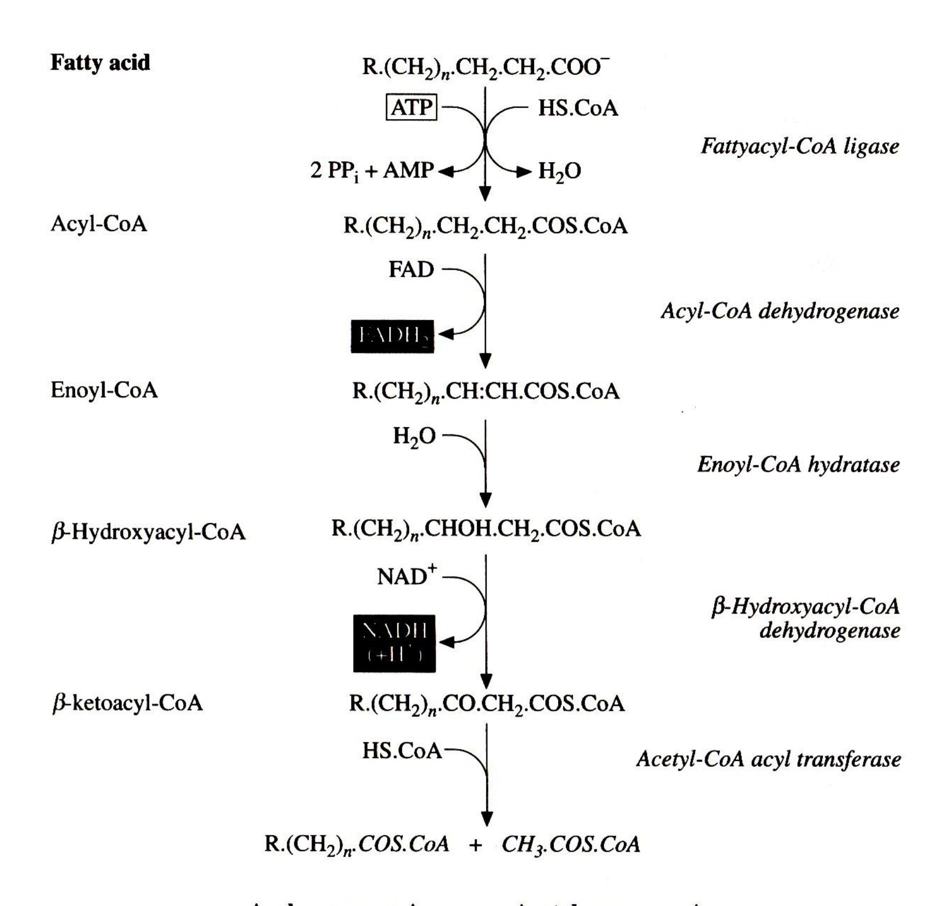
	مولات +	ATP -
2 مول جلاسيرول إلى **2** مول اسيتون ثنائي الهيدروكسيل الفوسفاتي	**6**	**2**
2 مول اسيتون ثنائي الهيدروكسيل الفوسفاتي إلى **1** مول جلوكوز	**0**	**0**
1 مول جلوكوز إلى ثاني أكسيد الكربون والماء	**38**	**0**
الإجمالي	**44**	**2**
صافي المكتسب من **ATP** لكل مول من الجلايسرول	**21**	

من جهة أخرى ربما يدخل اسيتون ثنائي الهيدروكسيل الفوسفاتي مسار تحلل السكر Glycolysis ويؤيض عن طريق البايروفيت ودورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل إلى ثاني أكسيد الكربون والماء وبطاقة متحررة وتقيّم كفاءة الجلايسرول كمصدر طاقة تحت هذه الظروف كما يلي:

	مولات +	ATP -
1 مول جلايسرول إلى 1 مول اسيتون ثنائي الهيدروكسيل الفوسفاتي	3	1
1 مول اسيتون ثنائي الهيدروكسيل الفوسفاتي إلى 1 مول بايروفيت	5	0
1 مول بايروفيت إلى ثاني أكسيد الكربون والماء	15	0
الإجمالي	23	1
صافي المكتسب من ATP لكل مول من الجلايسرول	22	

ويتوفر الجزء الرئيسي من الطاقة المشتقة من الدهن بواسطة الأحماض الدهنية حيث المسار المهم في تحللها هو أكسدة بيتا β - Oxidation والذي ينشأ عنه تقصير سلسلة الكربون بإزالة ذرتي كربون في كل مرة. المرحلة الأولى من أكسدة بيتا β - Oxidation هو تفاعل لتنشيط الحمض الدهني بقرين إنزيم A في وجود ATP وإنزيم Fattyacyl – CoA ligase ليعطي أسيل قرين إنزيم A (Acyl - Coenzyme A) ويحدث هذا في عصارة الخلية (cytosol) ثم ينتقل الحمض الدهني المنشط Fattyacyl – CoA إلى الميتاكوندريا " mitochondria " في شكل مركب مع الكارنيتين carnitine الأخير يتجدد هناك. ويخضع بعد ذلك لسلسلة من التفاعلات إلى أن يعطي أسيل قرين إنزيم A

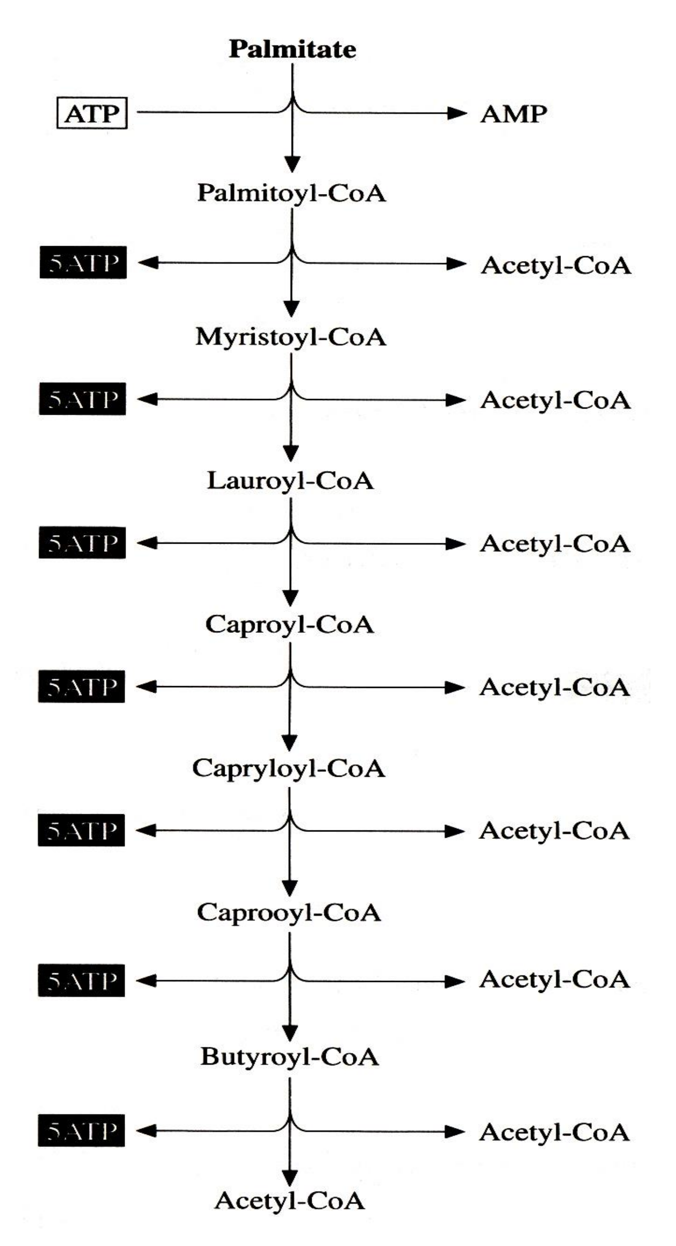
بأقل ذرتي كربون من الأصلي ويتحرر مول من أسيتيل قرين إنزيم A والمسار موضح في شكل 10.9.



شكل 10.9 أكسدة حمض دهني الى اسيتايل قرين انزيم A

أثناء انشطار ذرتي الكربون في صورة أسيتيل قرين إنزيم A فإنه ينتج ما يعادل خمسة مولات من ATP ويخضع الجزء المتبقي من الحمض الدهني acyl – coenzyme A لنفس

السلسلة من التفاعلات وتتواصل العملية حتى تتحول سلسلة الكربون بالكامل إلى عدد من جزيئات أسيتيل قرين إنزيم A و تدخل هذه الجزيئات دورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل وتؤكسد إلى ثاني أكسيد الكربون والماء وكل مول من أسيتيل قرين إنزيم A تم أكسدته الآن يعطي 12 مول من ATP. حيث أن التفاعل الأوّلي بمساهمة إنزيم Ligase يكون ضرورياً لمرة واحدة فقط لكل مول، فإن هناك مقداراً اكبر من ATP ينتج بنفس الطاقة المنفقة، بواسطة أكسدة أحماض ذات سلاسل طويلة مقارنة بالقصيرة. أكسدة حمض بالميتيت ذو 16 ذرة كربون موضحة في شكل 11.9.



شكل 11.9 أكسدة حمض البالميتيت عبر مسار أكسدة بيتا

ويمكن تلخيص إنتاج الطاقة في هذه السلسلة المتتالية كما يلي:

ATP -	مولات +	
2	0	1 مول بالميتيت إلى بالميتويل قرين إنزيم A
0	35	1 مول بالميتويل قرين إنزيم A إلى 8 مولات اسيتيل قرين إنزيم A
0	96	8 مولات اسيتيل قرين إنزيم A إلى ثاني أكسيد الكربون والماء
2	131	الإجمالي
	129	صافي المكتسب من ATP لكل مول بالميتيت

الأحماض الأمينية كمصدر للطاقة Amino acid as sources of energy

عندما تتوفر الأحماض الأمينية وتتجاوز احتياجات الحيوان أو عندما يضطر الحيوان لهدم أنسجة الجسم للمحافظة على عمليات الجسم الضرورية قد تتحلل الأحماض الأمينية لتوفير طاقة. ويحدث هدم الحمض الأميني في كل أنسجة الحيوان، ولكنه بصورة أساسية في الكبد؛ تبين الكلى أيضاً نشاطا كبيرا أما الأنسجة العضلية فتكون غير نشطة نسبياً. المرحلة الأولى في التحلل المؤكسد " the oxidative degradation " للأحماض الأمينية هو إزالة المجموعة الأمينية بأحد المسارين الرئيسيين: نزع المجموعة الأمينية (deaminotion) مع الأكسدة ونقل المجموعة الأمينية " transamination "، ففي الحالة الأخيرة يتم نقل المجموعة الأمينية إلى ذرة كربون ألفا لحمض كيتوني وعادة يكون α - Ketoglutarate مؤدياً إلى إنتاج حمض كيتوني آخر وجلوتاميت ويحفز التفاعل بواسطة إنزيمات تعرف بناقلات المجموعة الأمينية " transaminases " ويمكن أن يمثل تفاعل الاسبارتيت كما يلي:

NH_3^+ | O | | O | NH_3^+

$CH.COO^-$ + $C.COO^-$ $\rightleftharpoons$ (*Aspartate amino transferase*) $C.COO^-$ + $CH.COO^-$

$CH_2.COO^-$ | CH_2 | | $CH_2.COO^-$ | CH_2

$CH_2.COO^-$ | | $CH_2.COO^-$

Aspartate | α-ketoglutarate | Oxalacetate | Glutamate

الجلوتانيت الذي تكون على هذا النحو بالإضافة إلى الذي أصبح متوفراً من القناة الهضمية ومن تحلل البروتين في الأنسجة قد يخضع للأكسدة ونزع المجموعة الأمينية في وجود إنزيم Glutamate dehydrogenase :

NH_3^+ — $CH.COO^-$ — CH_2 — $CH_2.COO^-$ (Glutamate) $\xrightarrow[\text{Glutamate dehydrogenase}]{NAD^+,\ H_2O\ \rightarrow\ NADH\ (+H^+)}$ O = $C.COO^-$ — CH_2 — $CH_2.COO^-$ (α-ketoglutarate) + NH_4^+

Glutamate | α-ketoglutarate

قد يستخدم α - Ketoglutarate في نقل مجاميع أمينية إضافية ويؤكسد قرين الإنزيم المختزل بواسطة الأكسدة والفسفرة. الجلوتاميت هو الحمض الأميني الوحيد في نسيج

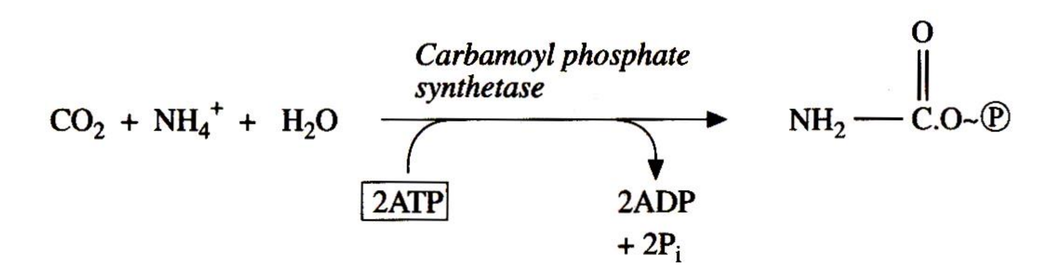
الثديات الذي يتعرض للأكسدة ونزع المجموعة الأمينية بمعدل يمكن تقديره. إن بدايات نقل المجاميع الأمينية والتي تنشأ عنها تعتبر ذات أهمية كبرى عندما يتم استخدام الأحماض الأمينية كمصادر للطاقة.

إن الإنزيمات المؤكسدة للأحماض الأمينية L , D والمرتبطة بالفلافين Flavin linked D- and L- amin acid oxidases والتي تحفز إنتاج أحماض كيتوية وامونيا تتواجد ولكنها ذات أهمية ثانوية فقط. و يكون الناتج النهائي لتحلل الأحماض الأمينية استل قرين إنزيم Aوالذي يتم معاملته عن طريق دورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل لإنتاج طاقة، وربما ينتج اسيتيل قرين إنزيم A مباشرة (كما هو الحال من تريبتوفان وليوسين وايزوليوسين)، عن طريق البايروفيت (الانين، جلايسين،سيرّين، ثريونين، سيسيتائين) أو عن طريق استو اسيتيل قرين إنزيم A (فينايل الانين، تايروسين، ليوسين، لايسين وتريبتوفان). و تتحلل أحماض أمينية أخرى بواسطة مسارات بتعقيدات متنوعة لتعطى نواتج مثل α – كيتوجلوتاريت، اوكزال اسيتيت، فيوماريت وسكسينايل قرين إنزيم A والتي تدخل دورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل وتنتج اسيتيل قرين إنزيم A عن طريق فوسفواينول بايروفيت Phosphoenol pyruvate.

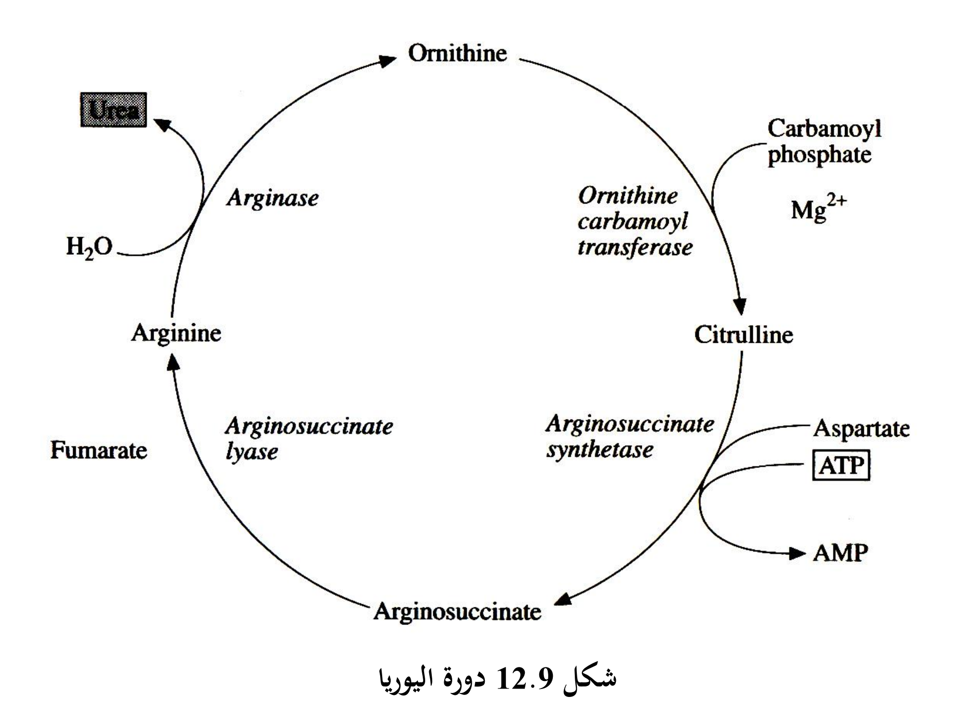
إحدى نتائج هدم الحمض الأميني هو إنتاج الأمونيا وهي عالية السمية، فالبعض منها قد يستخدم في إضافة مجموعة أمينية amination وذلك لتخليق حمض أميني في الجسم. وتتفاعل في هذه الحالة الامونيا مع α - كيتوجلوتاريت لتعطي جلوتاميت، والذي بدوره يستخدم للتصنيع. التفاعل عبارة عن انعكاس للأكسدة وإزالة المجموعة الأمينية

باستثناء أن $NADP^+$ تأخذ مكان NAD^+. وتُطرح معظم الأمونيا خارج الجسم في صورة يوريا في الثدييات وحمض البولينا في الطيور Uric acid.

تحدث إزالة المجموعة الأمينية في جميع أعضاء الجسم. وتتحول الأمونيا في معظم الأنسجة إلى جلوتامين قبل نقلها إلى الكبد، أما في العضلة فإن الألانين يحل محل الجلوتامين وبهذا فإن الأمونيا تتجدد لتصنيع اليوريا. ويتضمن هذا مرحلتين تحتاج كليهما مصدر طاقة في صورة ATP، الأولى هي تكوين كارباموبل فوسفات Carbamoyl phosphate من ثاني أكسيد الكربون وأمونيا وذلك في وجود إنزيمcarbamoyl phosphate synthatase:

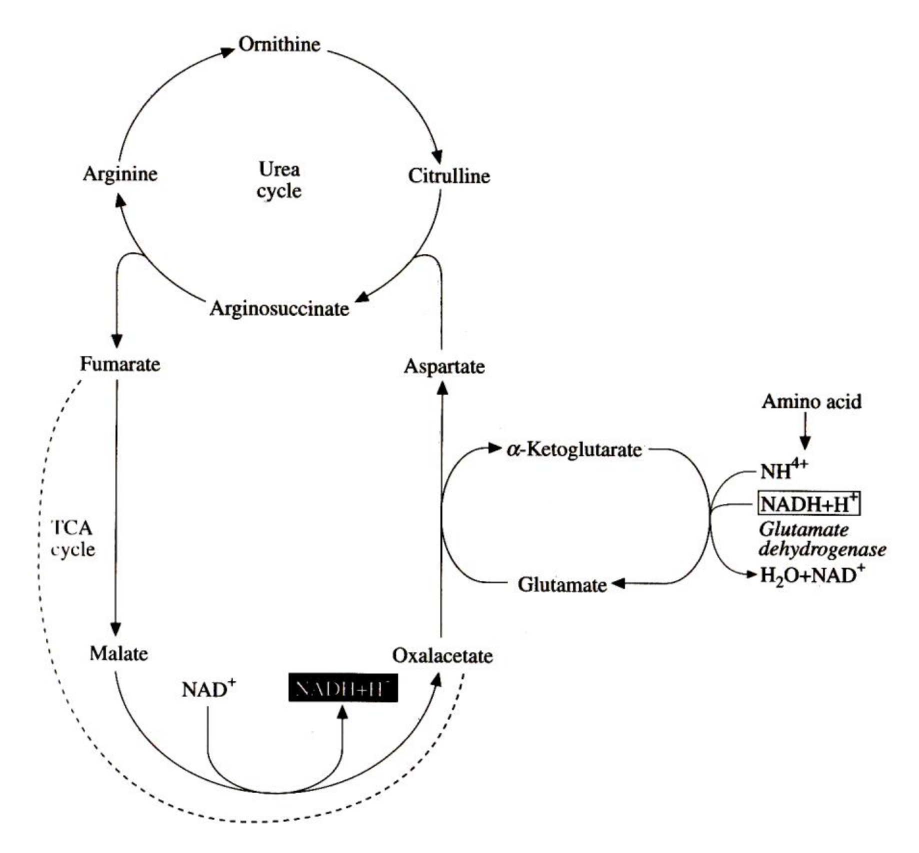


يتفاعل كرباموبل فوسفات بعد ذلك مع اورنيثين ornithine ليبدأ دورة من التفاعلات مؤدية إلى إنتاج اليوريا (شكل 12.9).



شكل 12.9 دورة اليوريا

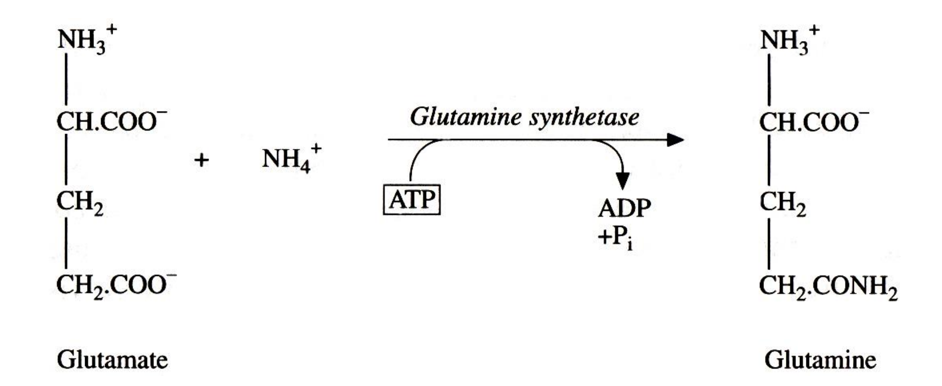
و يُنتج الاسبارتيت الداخل في الدورة بواسطة تفاعل جلوتاميت مع اوكزال اسيتيت، الأول تم إنتاجه من α-كيتوجلوتاريت زائد أمونيا متحررة من إزالة مجموعة أمينية من حمض أميني. ويُشتق اوكزال اسيتيت من فيوماريت، متحرر عند إنتاج ارجينين من ارجينوسكسينيت، والذي يدخل دورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل ويتحول إلى ماليت ومن ثم إلى اوكزال اسيتيت. لهذا لدينا دورة مصاحبة تربط دورتي اليوريا والحمض ثلاثي الكربوكسيل والتي يمكن تصورها كما هو موضح في شكل 13.9.



شكل 13.9 ترابط دورة اليوريا مع دورات الاحماض ثلاثية الكربوكسيل

تخضع الأمونيا الممتصة مباشرة من الكرش لنفس السلسلة من التفاعلات. وتطرح معظم اليوريا خارج الجسم ولكن كمية معينة، اعتماداً على وضع النيتروجين عند الحيوان، يعاد تدويرها عن طريق اللعاب وتدخل مباشرة عبر جدار الكرش.

ويتضمن إنتاج حمض البولينا " Uric acid " دمج الأمونيا في الجلوتامين بواسطة التفاعل مع الجلوتاميت:



ويدخل الجلوتامين بعد ذلك في سلسلة تفاعلات مع ريبوز -5- فوسفات، جلايسين واسبرتيت aspartate ليعطى حمض اينوسينيك inosinic acid والذي يحتوي نواه بيورين ويمكن تمثيل هذه السلسلة من التفاعلات كما يلي:

8ATP

2 Glutamine + Glycine + Aspartate → Inosinic acid + Fumarate

يُزال بعد ذلك بقية الريبوز -5 - فوسفات معطياً هايبوزانثين hypoxanthin والذي يتعرض لتفاعلين أكسدة بمساعدة إنزيم Xanthine Oxidase و تعطي هذه زانثين ومن ثم حمض البولينا uric acid (شكل 14.9).

إن التخلص من 2 مول أمونيا ينتج فقد صافٍ مقداره 6 مول ATP، بالإضافة إلى ذلك فإن 2 مول جلوتاميت،1 مول جلايسين و1 مول اسبارتيت تستنفذ ويتم إنتاج 1 مول فيوماريت. عند تقييم كفاءة إنتاج الطاقة من الأحماض الأمينية فإن الطاقة اللازمة

لتصنيع اليوريا يجب أن توضع في مقابل تلك المتحصل عليها من أكسدة هيكل الكربون للحمض. إذا أخذنا الاسبارتيت كمثال، فهذا يتحول أولاً إلى اوكزال استيت وجلوتاميت بالتفاعل مع α – كيتوجلوتاريت ومن ثم يؤكسد اوكزال استيت عن طريق مسار فوسفواينول بايروفيت ودورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل. تنزع المجموعة الأمينية من الجلوتاميت لتجديد تكوين α–كيتوجلوتاريت وتتحول الأمونيا المتحررة إلى يوريا.

Inosinic acid

Ribose-5-Ⓟ

Phosphorylase

Hypoxanthine

$O_2 + H_2$ → H_2O_2

Xanthine oxidase

Xanthine

$O_2 + H_2$ → H_2O_2

Xanthine oxidase

Uric acid

شكل 14.9 تحويل حمض إينوسينك إلى حمض البولينا

ويمكن تحضير بيان الميزانية كما يلي:

	مولات +	ATP -
2 مول اسبارتين إلى جلوتاميت + اوكزال اسيتيت	0	0
2 مول جلوتاميت إلى α- كيتوجلوتاريت + أمونيا	6	0
2 مول أمونيا إلى جلوتامين	0	2
1مول أمونيا إلى كربامويل فوسفات	0	2
1 مول سيترولين إلى ارجينوسكينيت	0	2
1مول ماليت إلى اوكزال اسيتيت	3	0
1 مول أمونيا إلى اسبارتيت	0	3
1 مول اسبارتيت إلى ثاني أكسيد الكربون والماء	30	0
الإجمالي:	39	9
صافي المكتسب من ATP لكل 2 مول اسبارتيت	30	
صافي المكتسب من ATP لكل مول اسبارتيت	15	

الكفاءة التي استخدمت بها العناصر الغذائية كمصادر طاقة ملخصة في جدول 1.9. متوسط كلفة إنتاج مول من ATP تكون هنا 86.3 ميجا جول حيث تكون القيمة المقبولة عامة هي85.4.

جدول 1.9 مقارنة الكفاءة لعناصر غذائية معينة كمصادر طاقة في صورة ATP [a]:

العنصر الغذائي	مولات ATP/ مول من العنصر	مولات ATP/ 100جم من العنصر	حرارة الاحتراق/مول ATP (كيلو جول)
جلوكوز	38	(4) 21.2	(1) 73.8
حمض بروبيونيك	17	(3) 22.9	(5) 89.5
حمض اسيتيك	10	(5) 16.7	(4) 87.4
حمض بيوتاريك	26	(2) 38.5	(3) 84.0
حمض اسبارتيك	15	(6) 11.4	(6) 104.5
ثلاثي بالمتيت	409	(1) 50.7	(2) 78.3

[a] القيم بين الأقواس ترمز إلى ترتيب الكفاءة.

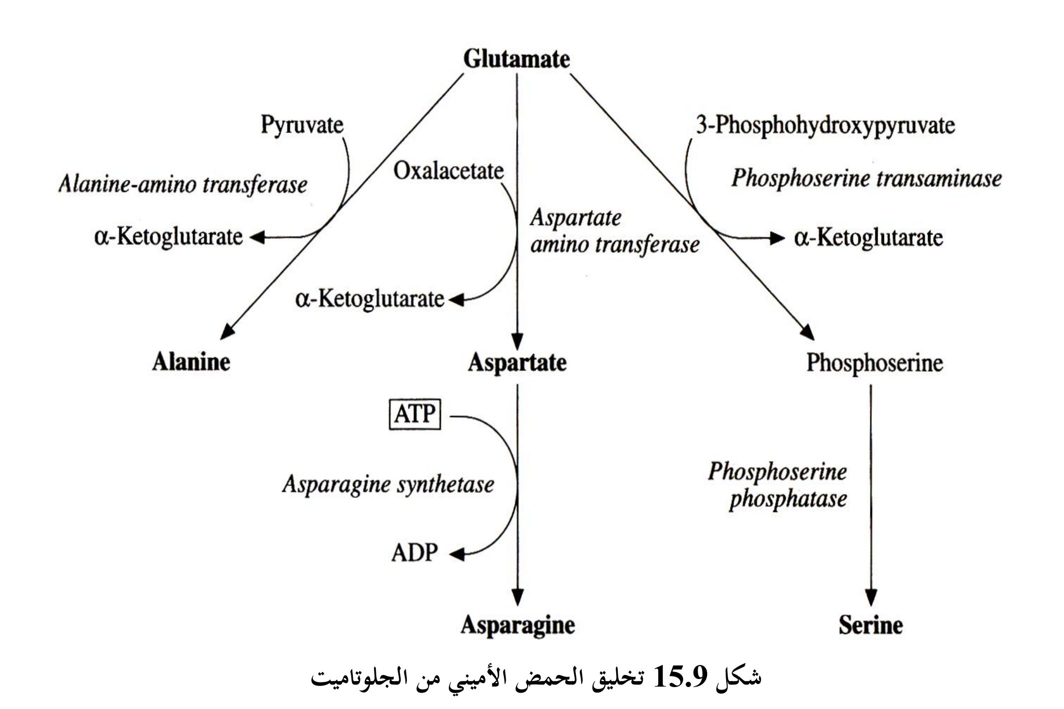
تخليق البروتين Protein Synthesis

تخليق البروتينات من أحماض أمينية والتي تصبح ميسرة إما كنواتج نهائية للهضم أو كنتيجة عمليات تخليقية داخل الجسم. وقد تحدث إضافة مجموعة أمينية مباشرة كما هو الحال عند α- كيتوجلوتاريت والذي ينتج جلوتاميت.

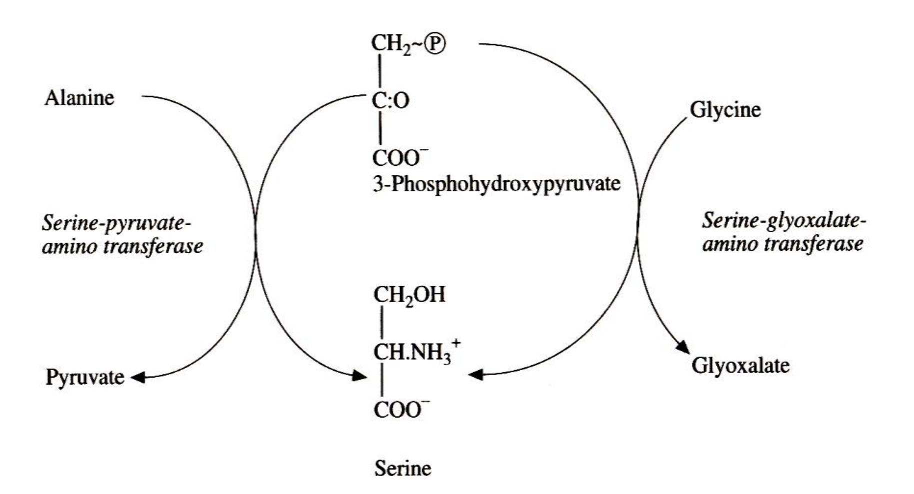
$$\underset{\alpha\text{-ketoglutarate}}{\begin{array}{l} O \\ \| \\ C.COO^- \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_2.COO^- \end{array}} + NH_4^+ + NADPH(+H^+) \underset{\textit{Glutamate dehydrogenase}}{\rightleftharpoons} \underset{\text{Glutamate}}{\begin{array}{l} NH_3^+ \\ | \\ CH.COO^- \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_2.COO^- \end{array}} + NADP^+ + H_2O$$

وقد يتعرض الجلوتاميت إلى زيادة في إضافة مجموعة أمينية ليعطى جلوتامين، ولكن الأكثر أهمية هي إمكانية تعرضه لتفاعلات نقل المجموعة الأمينية transamination بأحماض كيتونية متنوعة ليعطى أحماضاً أمينية كما هو موضح في شكل 15.9.

وقد تخضع الأحماض الأمينية الأخرى غير الجلوتاميت إلى نقل المجموعة الأمينية تلك لتنتج أحماض أمينية جديدة، وهكذا فإن كلا من الالانين والجلايسين يتفاعلان مع فوسفوهيدروكسي بايروفيت Phosphohydroxypyruvate لتعطي سيرين:



شكل 15.9 تخليق الحمض الأميني من الجلوتاميت



الجلوتاميت هو مصدر مادة البرولين والتي تحتوي تركيباً حلقياً خماسي العناصر. ويحدث تخليق البرولين في مرحلتين وتحتاج طاقة في صورة NAD^+ و $NADP^+$ مختزلة:

COO^- – $CHNH_2$ – CH_2 – CH_2 – COO^-
Glutamate

NADH ($+H^+$), ATP → NAD, ADP

CH_2—CH_2, CH, $CH.COO^-$, N
Δ'-Pyrroline 5-carboxylate

NADPH ($+H^+$) → $NADP^+$

CH_2—CH_2, CH_2, $CH.COO^-$, NH
Proline

كذلك قد تتكون أحماض أمينية بواسطة تفاعل أحماض كيتونية مع أملاح أمونيوم أو يوريا؛ الارجينين كما رأينا قد يخلّق أثناء تكوين اليوريا.

ليست كل الأحماض الأمينية تكون لها القدرة أن تخلّق في الجسم وأخرى لا تخلّق بالسرعة الكافية لسد حاجة الجسم. ويجب توفير كل هذه المجموعات للحيوان وتعرف تلك الأحماض الأمينية بالأحماض الأمينية الضرورية أو الإجبارية (فصل 4). أن كلمة ضروري أو إجباري كما تستعمل هنا لا تدل على أن هناك أحماضاً أخرى غير مطلوبة لصالح الحيوان ولكن ببساطة تدل على أن توفيرها في الغذاء غير ضروري. كل الأحماض الأمينية الخمسة والعشرين التي وجدت طبيعياً في الجسم ضرورية فسيولوجياً؛ حوالي 10 أو 11 أساسية غذائياً، وكما هو متوقع، فإن القائمة الفعلية للأحماض الضرورية (الإجبارية) تختلف من نوع إلى نوع. في الأبقار والأغنام، التخليق البكتيري للأحماض الأمينية في الكرش يجعل إدخال أي حمض أميني مخصص في الغذاء غير ضروري باستثناء ظروف الإنتاج المكثف كما في حالة أبقار اللبن عالية الإنتاج أو الحيوانات الصغيرة التي بها زيادة وزنية عالية.

و تنقل الأحماض الأمينية التي تمتص من القناة الهضمية إلى مجرى الدم إلى خلايا. و يتطلب هذا مصدر طاقة نظراً لان تركيز الأحماض الأمينية في الخلية قد يصل إلى 100 مرة مما في الدم والنقل إلى داخل الخلية يجب أن يتم عكس التركيز الأكبر (A very considerable concentration gradients). ويحدث تبادل مستمر بين الدم والأحماض الأمينية الخلوية ولكن ليس بين الأحماض الأمينية الحرة وبين بروتينات الأنسجة. وتتعرض بروتينات الأنسجة نفسها إلى تحلل وإعادة تخليق، ويختلف ثباتها باختلاف الأنسجة. بروتين الكبد تكون نصف حياته مدة 7 أيام، بينما يكون بروتين الكولاجين ثابتاً جداً وقد يؤخذ في الاعتبار بأنه خامل كلياً.

وربما تقسّم عملية تخليق البروتين بشكل ملائم إلى أربع مراحل وتتكون هذه من تنشيط الأحماض الأمينية كل على حده، بدءاً من تكوين سلسلة البيبتد وإطالة السلسلة وإنهاء السلسلة.

التنشيط Activation

الخطوة الأولى إنزيمية وتتطلب وجود ATP لتعطى مركبات كما يلي:

$$\text{Amino acid} + \boxed{\text{ATP}} + \text{Enzyme} \longrightarrow \text{Amino-acyl-AMP-Enzyme} + \text{Pyrophosphate}$$

تقترن مجموعة أمينو أسيل فيما بعد مع جزيء حمض نووي ريبوزي ناقل (transfer – RNA):

$$\textbf{Aminoacyl–AMP– Enzyme + tRNA} \rightarrow \textbf{Amino–acyl–tRNA + AMP + Enzyme}$$

و تكون كل من التفاعلات السابقة محفزة بأنزيم فردي aminoacyl synthetase، معتمد على أيونات ماغنيسيوم Mg^{2+} ومتخصص للحمض الأميني و tRNA. أنزيمات Synthetases تميز بين العشرين حمض أميني الموجودة طبيعياً ولكن التدقيق ليس بشكل مطلق. يتركيب جزيء tRNA من جديلة من النيوكليوتيدات (الفصل 4)، والتي

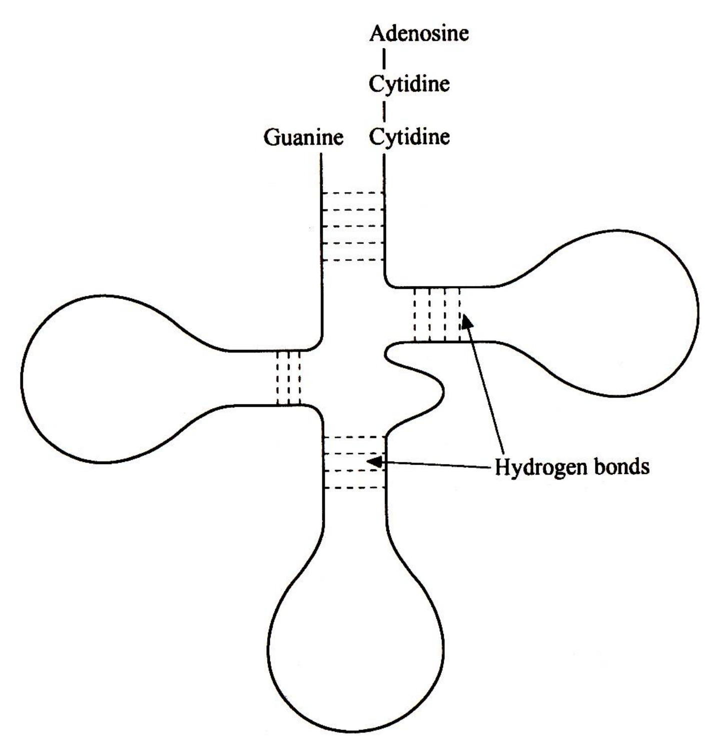
تُظهر طيات هائلة مثبتة بواسطة ارتباط هيدروجيني. عند إحدى أطراف السلسلة ترتيب قاعدة نهائية من

– C–C–A–OH

وهذا يعني Cytidine - Cytidine - Adenosine. يرتبط الحمض الأميني مع سكر الريبوز للادينوسين الطرفي، أما النهاية الأخرى في السلسلة فكثيراً ما تنتهي في نيوكليوتيد جوانين Guanine. ربما يمكننا تصور جزيء tRNA نموذجي كما هو موضح في شكل 16.9.

يوجد على الأقل tRNA واحد لكل حمض أميني ولكن حمضاً أمينياً واحداً فقط لكل tRNA. حيث أن المناطق الطرفية لأنواع متنوعة من tRNA متشابه جداً فقد استوجب ذلك أن خصوصيته تكمن في بعض الترتيبات داخل الجزيئات. ويتكون هذا الترتيب من تعاقب ثلاث قواعد، طبيعة و يكون ترتيب ذلك مخصصاً لحمض أميني محدد.

عندما يتم ارتباط الحمض الأميني مع tRNA فإنه يُنقل لأحد مواقع تخليق البروتين، الريبوسومات. وتكون هذه جزءاً من تراكيب معروفة بالبوليسوم Polysomes حيث تكون رايبوسومات عديدة مرتبطة بواسطة جديلة من الحمض النووي الريبوزي الرسول Messenger RNA (mRNA). إنه تعاقب القواعد على جديلة هذا الحمض mRNA، نسخت أصلاً من DNA النواة، والذي يحدد تتابع الحمض الأميني في التركيب الأساسي للبروتين المراد تخليقه. ويوضع الحمض الأميني الخاص عند سطح mRNA وعند نقطة ذات ترتيب محدد من القواعد الثلاث، و يعني هذا وجود شفره ثلاثية القاعدة معروفة بالكودون (Codon) خاصة لكل حمض أميني.



شكل 16.9 تمثيل تخطيطي لجزيء tRNA

إن tRNA الحامل لحمض أميني محدد لكودون خاص سوف يكون له ترتيب تام من قواعد ثلاث تعرف بمضاد الكودون anti–codon. يوجد 64 احتمال لتوافقيات ثلاثية القاعدة، اتضح أن منها 61 يمكن أن تكوّن شفره للعشرين حمض أميني المتضمنة في تخليق البروتين، ولذلك فإن هناك أكثر من كودون واحد لكل حمض أميني ويقال بان الكودون متجدد. مع ذلك فإن أي كودون يشفر حمض أميني واحد فقط وبالتالي بالرغم من تجدده

فإن الشفرة ليست غامضة. لقد وضحت كودونات لأحماض أمينية مفردة والأمثلة معطاة في جدول 2.9 .

جدول 2.9 أمثلة من كودونات معروفة على mRNA .

الكودون	الحمض الأميني
UUU	فينايل الأنين
UUA	ليوسين
UCC	سيرّين
UCA	سيرّين
CCC	برولين
CGA	ارجينين
AGC	سيرّين
AGA	ارجينين

U = يوراسيل (uracil)، C = سايتوسين (cytosine)

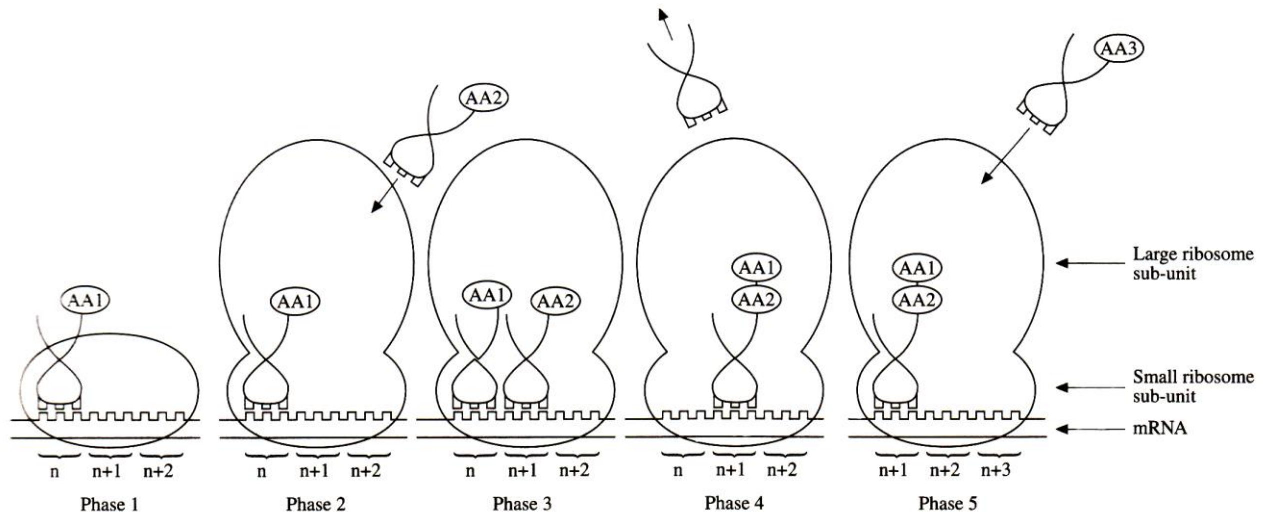
A = أدينين (Adenine)، G = جوانين (Guanine) .

بداية تكوين سلسلة البيبتيد Initiation of peptide chain formation

تتكون رايبوسومات الحيوانات الراقية من اثنين من الوحدات الفرعية يرمز لها S40 (Svedberg unit) و S60، تبعاً لخصائصها الترسيبية في جهاز الطرد المركزي الفائق ultr–centrifuge و تتحد هذه لتكون رايبوسوم S80 الوظيفي.

يتضمن بدء تكون البيبتيد التصاق الوحدات الفرعية الصغرى على tRNA و mRNA. شفرات tRNA الاولى للميثيونين وتوضع عند كودون AUG (n) في طرف سلسلة mRNA (المرحلة1 من شكل 17.9).

وتصبح الوحدات الفرعية الأكبر مرتبطة لتكون رايبوسوم كامل والذي يكون فيما بعد جاهزاً لقبول مركب tRNA أميني تالٍ عند كودون n + 1(المرحلة 2). إن إدخال كل قطعة حمض أميني يتطلب استهلاك رابطة فوسفاتية عالية الطاقة في صورة GTP.



شكل17.9 تمثيل تخطيطي للأحداث المتتابعة الواقعة في الرايبوسوم أثناء عملية تصنيع البيبتيد المتعدد.

إطالة سلسلة الببتيد Elongation

يوضع الحمض الأميني المطلوب (AA_2) بعد ذلك عند كودون n + 1 بواسطة tRNA المحدد له كما هو موضح في المرحلة الثالثة. تتكون فيما رابطة ببتيدية بين AA1 (ميثيونين) و AA2 وفي نفس الوقت يلفظ tRNA الخاص بالميثيونين (المرحلة 4). يتحرك بعد ذلك الرايبوسوم وm-RNA بتناسب احدهما مع الأخر ويتم وضع كودون + 1 n في الموقع المشغول سابقاً بواسطة كودون n ويتحرك كودون n + 2 إلى المكان المشغول سابقا بواسطة n +1 ، كما مبين في المرحلة 5. بعد ذلك تتكرر العملية بوضع AA3 عند n + 2، يتلوها تكون رابطة ببتيدية وتحرك الرايبوسوم لتعريض n +3 . يستمر هذا حتى تكتمل السلسلة؛ كل حركة تتطلب استهلاك رابطة واحدة عالية الطاقة في صورة GTP.

إنهاء سلسلة الببتيد Termination

تستمر إطالة السلسلة إلى أن يتم الوصول إلى كودون لا يعمل شفرة لأي حمض أميني، يعني UAA، UAG، أو UGA عندئذ تتوقف الإطالة وتطلق سلسلة الببتيد المتكون عن طريق التحلل وتُزال بقية الميثيونين إنزيمياً.

الببتيد المتعدد هو التركيب الأساسي للبروتين. تصبح السلسلة فيما بعد مرتّبة في شكل لولبي ثانوي بواسطة ترابط هيدروجيني. تتضمن المرحلة الثالثة من التركيب tertiary structure التواءً مكثفاً وانطواء السلسلة ويثبت بواسطة الترابط الهيدروجيني، الروابط الملحية وجسور كبريت. وتتضمن المرحلة الرابعة من التركيب Quaternary Structure عملية تكوين بوليمرات لهذه الوحدات الأساسية(فصل 4).

يمثل mRNA نسبة بسيطة من RNA الخلية ولكن له وجود عابر. في بعض الكائنات الحية الدقيقة قد يعمل كقالب في تخليق 10 إلى 20 مرة فقط؛ و قد تكون حياته النشطة في أنسجة الثدييات أطول بكثير و قد تستمر في بعض الحالات لعدة أيام.

إن آلية تخليق البروتين التي نوقشت أعلاه لا تتضمن إضافة الأحماض الأمينية إلى البيتبيدات المتكونة؛ ويبدأ التخليق بحمض أميني وتخلّق سلسلة البيتبيد المتعدد بواسطة إضافة متتالية لأحماض أمينية مفردة. وسوف لا يتم التخليق إلا إذا كانت كل الأحماض الأمينية المطلوبة لتخليق البيتيد موجودة في الوقت المناسب، وان الأحماض الأمينية الموجودة تزال وقد يتم هدمها، لهذا قد يحدث فقد كبير للأحماض الأمينية إذا قدّمت خلطة غير كاملة للتخليط.

توفر الطاقة أثناء تخليق البروتين بواسطة تحلل GTP , ATP، إنتاج كل مول يتطلب إنفاق 85.4 كيلو جول عن طريق الجسم. إذا عملنا افتراضات معينة، وربما يتم عمل تقييم لكفاءة فعالية الطاقة لتخليق البروتين. دعنا نفترض بان متوسط الوزن الجزيئي الجرامي للأحماض الأمينية في بروتين ما هو 100. يكون عدد الأحماض الأمينية في ذلك البروتين كبير، وليكن (n) وعدد الروابط الببتيدية سيكون (n - 1) ولكن قد تؤخذ (n لكل الأغراض العملية التطبيقية. ربما يمكننا الآن رسم بيان ميزانية الطاقة كما يلي:

	طاقة منفقة(كيلو جول)	طاقة مخزنة (كيلوجول)
100 جرام حمض أميني	**2437**	**-**
2 مول ATP (تنشيط)	**170.8**	**-**
1 مول GTP (بدء السلسلة)	**85.4**	**-**

1 مول GTP(إطالة السلسة)	85.4	-
100 جرام بروتين		2437
	2778.6	2437

كفاءة فعالية الطاقة = 2437 ÷ 2778.6 = 0.88

ملحوظة: تفترض الحسابات توفراً متزامناً للأحماض الأمينية المطلوبة، ومن المحتمل أن تكون الكفاءة اقل بكثير تحت الظروف العادية.

الهندسة الوراثية Genetic engineering

تسمح تقنية إعادة تجميع DNA (Recombinant DNA) بشطر قطعة DNA محتوية على جين ذي أهمية وربطة بجزيء DNA له القدرة على التضاعف الذاتي، ويمكن لهذا أن يتكاثر بواسطة إدخاله في خلية حية بحيث أن الخصائص التي يحولها ذلك الجين تمنح لتلك الخلية. وتضمنت النجاحات المبكرة في هذه التقنية كلونة وتحويل معلومات عن الأنسولين البشري إلى بكتيريا القولون *Escherichia coli* والجين الذي يحوّل معلومات عن هرمون النمو في الجرذان وإدخاله إلى الفئران. مثل تلك الحيوانات المحوَّرة وراثياً (جينياً) معروفة باسم " transgenic animals ". إن إدخال الجينات تبدِّل المسارات البيوكيميائية الأصلية the inherent biochemical في الكائن الحي ربما يكون لها أهمية جوهرية لتغذية الحيوانات، نظراً لأنها تعطيها القدرة والتي لم تكن ظاهرة من قبل، لإنتاج عناصر غذائية ضرورية. وعليه:

1. الحمض الأميني cysteine ضروري لنمو الصوف في الأغنام، وهي تحتاج إلى مصدر من الميثيونين لتخليقه. بكتيريا معينة لديها القدرة على تخليق cysteine، يتضمن المسار عمل اثنين من الأنزيمات وهما:

serine transaetylase و O – acetylserine sulphhydrylase. الجينات المحولة لهذه الإنزيمات تم إدخالها بنجاح إلى الأغنام والتي عبرت عن مسارات مناسبة ولكن إلى الآن أنسجة غير ملائمة فقط.

2. جينات للتخليق الحيوي Biosynthesis للأحماض الأمينية الضرورية ثريونين ولايسين من الاسبارتيت أدخلت بنجاح إلى خلايا الفأر تمهيداً لإدخالها إلى الخريطة الجينية للخنزير.

3. تم إنتاج فئران محورة جينياً Transgenic mice والتي بينت نشاط إنزيم سيليوليز بنكرياسي Pancreatic cellulase، الأهمية الفعلية لهذا الانجاز لتحسين الهضم في حيوانات وحيدة المعدة تبين بذاته Self – evident.

4. لقد استخدم حالياً نقل الجين لإدخال نشاط السيليوليز إلى بكتيريا المعدة الخلفية. لو أن القدرة لتوضيح نشاط سيليوليز تحت ظروف عالية الحامضية منحت للكائنات الحية الدقيقة في الكرش، سوف يصبح له تأثير جوهري في تحسن التأثيرات الضارة للتغذية علي مستويات عالية من المركزات على هضم الألياف والمأكول من العلف. الكائنات المحورة جينياً عليها أن تكون قادرة على أن تنافس الكائنات الموجودة أصلاً في الكرش لو أريد لها النجاح عملياً.

تخليق الدهن Fat Synthesis

تشتق الجلسريدات (الجلسريدات الثلاثية triacylglycerols) مخزن الدهن من الجلسريدات أو قد تكون مخلقة في الجسم من

.L – glycerol–3– phosphate , Fatty acyl COA

تخليق Fatty acyl – COA synthesis

عامة يعتقد بان هناك ثلاثة نظم لتخليق الحمض الدهني. الأول وهو الأكثر نشاطاً يتركز في العصارة الخلوية " Cytosol " ويؤدي إلى إنتاج بالميتيت palmitate وذلك من اسيتل قرين إنزيم A، أما الثاني فيحدث بصفة رئيسية في الشبكة الاندوبلازمية وعلى نطاق محدود في الميتاكوندريا و يتضمن هذا إطالة سلاسل الأحماض الدهنية بإضافة ذرتي كربون بواسطة مالونايل قرين إنزيم malonyl COA A كمعطى. يكون النظام الثالث مقتصراً على الشبكة الاندوبلازمية ويسبب إزالة تشبع الأحماض المتكونة desaturation.

تخليق البالميتيت في العصارة الخلوية Cystolic Synthesis of palmitate

ينتج استيل قرين إنزيم A في الحيوانات غير المجترة في الميتاكوندريا بواسطة تحلل تأكسدي للأحماض الأمينية والدهنية، ولكن بواسطة إزالة ثاني أكسيد الكربون وأكسدة البايروفيت بالدرجة الأولى. يعتبر غشاء الميتاكوندريا غير منفذ للاسيتل قرين إنزيم A والذي يجب أن يكون مركباً مع الكارنيتين Carnitine أو يتغير إلى سيتريت لكي يمكن نقله إلى العصارة الخلوية. يحدث تجدد اسيتل قرين إنزيم A فيما بعد، مثلاً:

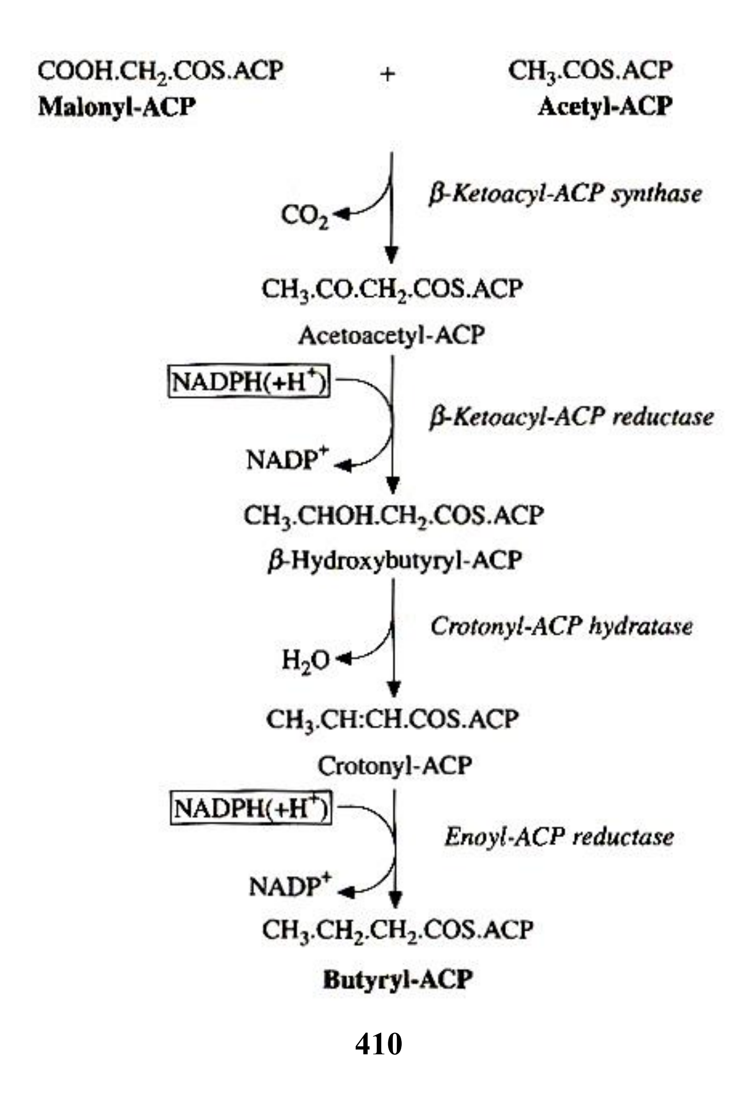
$$\text{Citrate} + \text{Coenzyme A} \xrightarrow[\text{ATP} \rightarrow \text{ADP}]{\textit{ATP-citrate lyase}} \text{Acetyl-CoA} + \text{Oxalacetate}$$

يمتص الاسيتيت في الحيوان المجتر مباشرة من القناة الهضمية ويتغير إلى اسيتل قرين إنزيم A في وجود إنزيم Acetyl – COA Synthetase. هذا هو المصدر الرئيسي لاسيتيل قرين إنزيم A في المجترات والتي يكون فيها نشاط ATP–Citrate lyase منخفضاً. يكون النظام نشطاً في الكبد والكلى والرئتين والغدد اللبنية والنسيج الدهني. احتياجات النظام هي $NADP^+$ المختزلة وATP وثاني أكسيد الكربون وايونات المنجنيز. المرحلة الأولى هي تحويل اسيتل قرين إنزيم A إلى مالونايل قرين إنزيم A:

$$\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ COS.CoA \end{matrix} + \boxed{ATP} + H_2O + CO_2 \xrightarrow[Mn^{2+}]{\textit{Acetyl-CoA carboxylase}} \begin{matrix} COOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ COS.CoA \end{matrix} + ADP + P_i$$

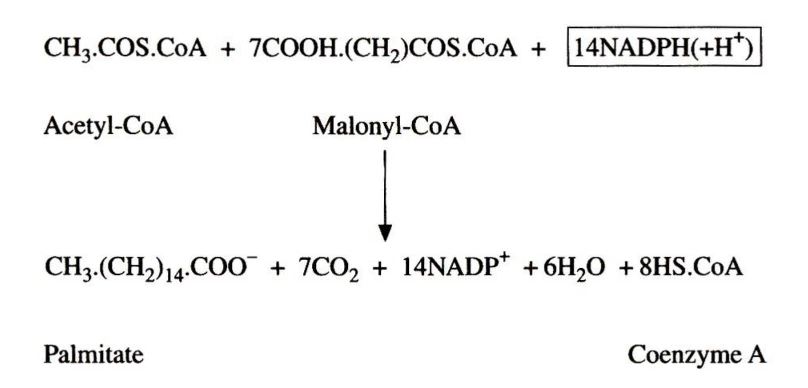
يتفاعل مالونايل قرين إنزيم A مع بروتين ناقل للأسيل Acyl-carrier protein (ACP) في وجود إنزيم malonyl – COA – ACP transacylase ليعطي مركب Malonyle -ACP. يلتصق بعد ذلك Acetyl–COA مع ACP في وجود Acetyl–COA–ACP transacylase وهذا يتفاعل مع malonyl – ACP، يزداد طول السلسلة بواسطة ذرتي كربون لينتج مركب butyryl–ACP. التفاعلات المتضمنة موضحة في شكل 18.9.

مركب butyryl–ACP يتفاعل فيما بعد مع مركب malonyl– ACP، مؤدياً إلى إطالة السلسلة بذرتي كربون وليعطى Caproyl-ACP. تتم إطالة السلسلة بواسطة تفاعلات متتالية لمركبات Fattyacyl–ACP مع malonyl – COA إلى أن ينتج مركب palmitoyl– ACP، وبذلك يتوقف.



شكل 18.9 تصنيع الأحماض الدهنية في عصارة الخلية Cytosol

يتحرر حمض البالميتيك بفعل إنزيم deacylase مخصص، ويمكننا كتابة إجمالي التفاعلات كما يلي:

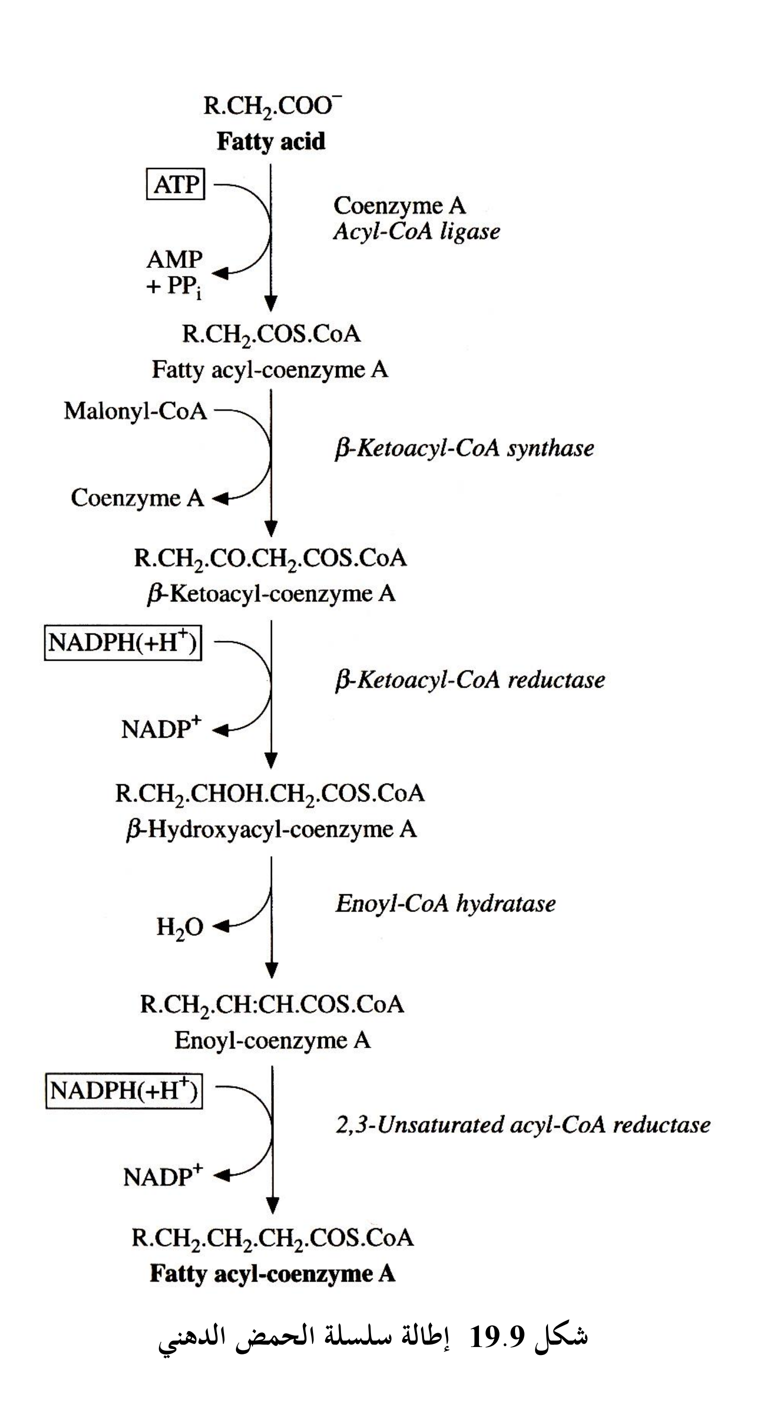


تحتوي غدة اللبن على إنزيمات deacylases المخصصة لمركبات سلسلة الأسيل القصيرة والمتوسطة و تظهر أحماض ذوات سلاسل بهذه الأطوال في دهن اللبن.

إطالة السلسلة Chain elongation

يحتاج هذا النظام ATP و$NADP^+$ المختزل، وهو يتضمن اندماج وحدات من ذرتي كربون إلى أحماض دهنية متوسطة وطويلة السلسلة. ويمكن توضيح المسار كما هو مبين في شكل 19.9. نواتج النظام المتمركزة في الميكروسوم (إحدى حبيبات بروتوبلازما الخلية) تكون أحماضاً مشبعة من ذوات 18 , 20 , 22 ,24 ذرة كربون وعادة تنتج من حمض بالميتيك تم تخليقه بواسطة نظام العصارة الخلوية Systolic)

(System. إن نظام الميتاكوندريا لإطالة سلاسل الحمض الدهني تتواجد ولكنها نشطة فقط تحت الظروف اللا هوائية.



شكل 19.9 إطالة سلسلة الحمض الدهني

إزالة التشبع في الأحماض الدهنية المتكونة

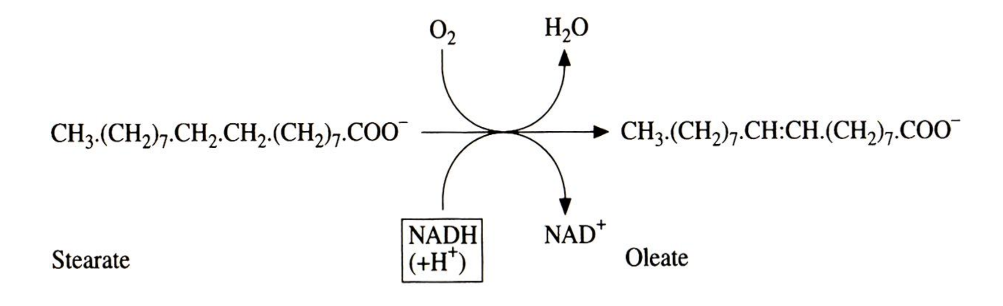
Desaturation of performed Fatty Acids

قد تدخل رابطة مزدوجة إلى سلاسل حمض دهني بفعل إنزيمات Fatty – Acyl CoA-desaturases موجودة في الميكروسومات، وهكذا تنتج أحماض palmitoleic و Oleic من الأحماض المشبعة المناظرة بواسطة نظام a Δ^9 desaturase الذي يدخل رابطة زوجية بين ذرات الكربون 9 ،10 .

O_2 H_2O

$CH_3.(CH_2)_6.CH_2.CH_2.(CH_2)_6.COO^- \longrightarrow CH_3.(CH_2)_6.CH:CH.(CH_2)_6.COO^-$

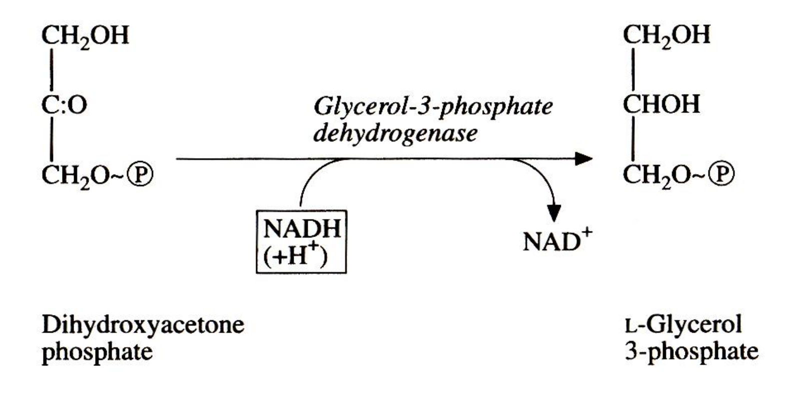
Palmitate NADH ($+H^+$) NAD^+ Palmitoleate



وتحتوي خلايا الثدييات أيضاً على أنظمة إنزيمات desaturases نوع Δ^6 و Δ^5 ولكن ليس لهذه الخلايا أنظمة قادرة على إدخال روابط مزدوجة بعد ذرة الكربون 9، ونتيجة لذلك فليس بالإمكان تخليق أي من حمض لينوليك ($18 : 2^{\Delta 9,12}$) أو حمض α- لينولينك ($18 : 3^{\Delta 9,12,15}$) في أنسجة الثدييات وهذه يجب توفيرها في الغذاء ويشار إليها كأحماض دهنية ضرورية (EFA). ما إن تم تناولها فان سلسلة من الأحماض تشمل **γ**- ليتولينك، اراشيدونك و eicosapentaenoic قد تصطنع منها بواسطة إطالة متتالية للسلسلة وإزالة التشبع عند Δ^6 و/أو Δ^5. (شكل 4.3)

تخليق جلايسرول 3- فوسفات Synthesis of L-glycerol 3-phosphate

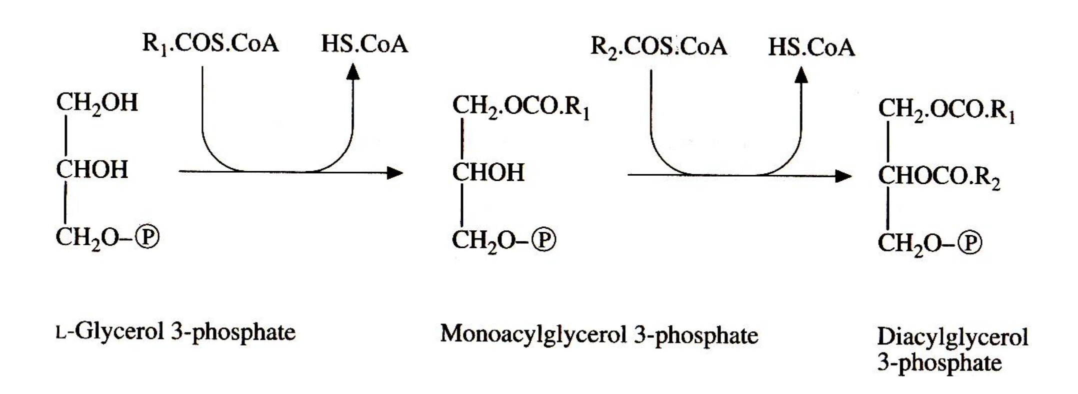
إن المادة التي يتشكل منها عادة هي DHAP dihyroxyacetone phosphate المنتج بواسطة تفاعلات إنزيم aldolase في مسار تحلل السكر Glycolytic pathway. وهذا يتم اختزاله بواسطة NAD–linked glycerol-3- phosphate dehydrogenase



قد يتكون أيضاً من جلايسرول حر، ممتص من القناة الهضمية أو نشأ من تحلل هدم triacylgycerols في وجود إنزيم glycerol kinase ويحتاج التفاعل إلى إنفاق رابطة عالية الطاقة في صورة ATP.

تخليق ثلاثي أسيل جلايسرول Synthesis of triacylglycerols

المرحلة الأولى هي إضافة الأسيل Acylation وذلك في وجود إنزيم Glycerol -3- phosphate acyltransferase، من مجموعات الكحول الحرة G -3- P بواسطة جزيئين من Fattyacyl–CoA لإنتاج حمض فوسفاتيديك phosphatidic acid .



ويحدث التفاعل تفضيلياً بأحماض تحتوي 16 ، 18 من ذرات الكربون. ويتحلل حمض فوسفاتيديك فيما بعد ليعطي ثنائي أسيل جلايسرول والذي يتفاعل بدوره Fattyacyl – CoA ثالث ليعطي ثلاثي أسيل جلايسرول:

$$CH_2OCO.R_1 - CHOCO.R_2 - CH_2O\sim\text{Ⓟ} \xrightarrow[H_2O \rightarrow P_i]{\textit{Phosphatidate phosphatase}} CH_2OCO.R_1 - CHOCO.R_2 - CH_2OH \xrightarrow[R_3.COS.CoA \rightarrow HS.CoA]{\textit{Diacylglycerol acyltransferase}} CH_2OCO.R_1 - CHOCO.R_2 - CH_2OCO.R_3$$

Diacylglycerol 3-phosphate   Diacylglycerol   Triacylglycerol

يحدث تخليق مباشر لثلاثي أسيل جلايسرول من أحادي أسيل جلايسرول في الغشاء المخاطي المعوي للحيوانات الراقية.

ويمكن حساب كفاءة تخليق الدهن من المسارات المشار اليها، فيصبح حساب تخليق ثلاثي بالميتين tripalmitin (بالميتين ثلاثي) في النظام السايتوبلازمي

طاقة مخزنة (KJ)	طاقة منفقة (KJ)	
	6996.0	8 مولات اسيتيت
	1366.4	8 مولات أسيت إلى أسيل قرين إنزيم A
	597.8	8 مولات أسيل قرين إنزيم A إلى مالونايل قرين A
	3348.3	7 إضافات من مالونايل قرين A
	12308.5	طاقة 1 مول بالميتيت
	36925.5	طاقة 3 مولات بالميتيت
	1435	½ مول جلوكوز
	85.4	½ مول جلوكوز إلى (DHAP)
	256.2	1 مول DHAP إلى مول جلايسرول 3 فوسفات
	1776.6	طاقة 1 مول جلايسرول 3 فوسفات
	38702.1	إجمالي طاقة 1 مول بالميتين ثلاثي
32037.0		طاقة مخزنة في 1 مول بالميتين ثلاثي

كفاءة التخليق: $\frac{32037.0}{38702.1} = 0.83$

تخليق الكربوهيدرات Carbohudrate Synthesis

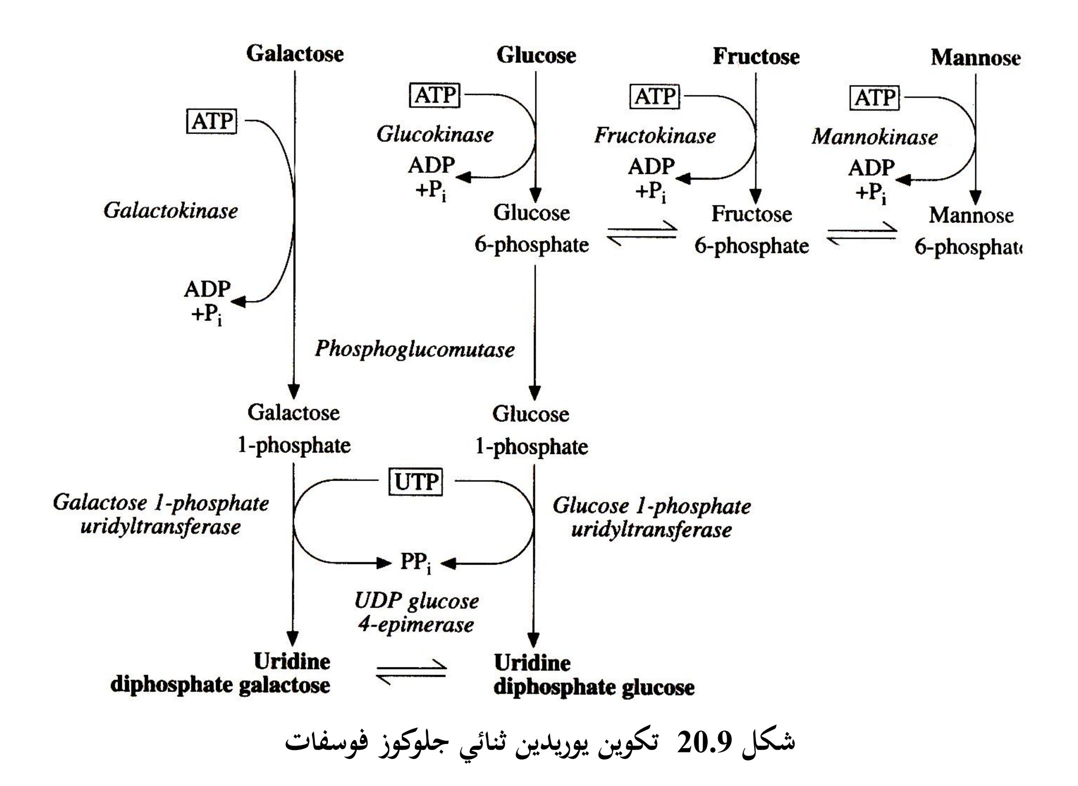
لقد تم شرح تكون الجلوكوز من جزيئات ابسط مثل البروبيونك والأحماض الكيتونية، و يصلح الجلوكوز في حد ذاته كمصدر لمادة تخليق اثنين من الكربوهيدرات المهمة، وهما الجلايكوجين وسكر اللبن أو اللاكتوز والذي يكون تخليقه مقتصراً على غدة اللبن للحيوان الحلوب.

تخليق الجلايكوجين Glycogen Synthesis

الجلايكوجين سكريد متعدد معقد تكوّن من أجزاء جلوكوز متكثفة (فصل 2)، وله القدرة على زيادة وحدات جلوكوز إضافية عندما تتوفر في الجسم. إن مادة المصدر الفعلية لتكوين الجلايكوجين هي يوريدين الجلوكوز ثنائي فوسفات.

Uridine diphosphate glucose (UDPG) والذي ينتج من مصادر متنوعة كما هو موضح في شكل 20.9

ينتج الجلايكوجين بواسطة تفاعل UDPG مع جزيئات تمهيدية، وأكثرها نشاطاً الجلايكوجين ذاته. و تصلح جزيئات قليلة في حدود أربعة أجزاء جلوكوز لكونها تمهيدية لكن بمعدل تفاعل بطئ. وكلما زاد تعقيد الجزء التمهيدي يزداد معدل التفاعل أيضاً.



شكل 20.9 تكوين يوريدين ثنائي جلوكوز فوسفات

ويتضمن التخليق تفاعل UDPG مع مجموعة الهيدروكسيل الرابعة للطرف غير المختزل للسلسلة التمهيدية في وجود إنزيم Glycogen Synthase:

$$\mathbf{(Glucose)_{n+1} + UDP \xrightarrow{Glycogen\ Synthas} UDP\text{-}\ glucose + (glucose)_n}$$

إن الروابط 1،6 المسئولة على التفرع داخل جزئ الجلايكوجين تتكون بواسطة قطعة طرفية قليلة الحدود oligosaccharide بها 6 إلى 7 أجزاء جلوكوز من نهاية سلسلة

الجلايكوجين إلى مجموعة هيدروكسيل في الكربون رقم 6 من الجلوكوز داخل السلسلة.
ويحدث هذا في وجود إنزيم التفرع وبدقة أكثرAmylo - (1,4-1,6) Transglycosylase

تخليق اللاكتوز Lactose Synthesis

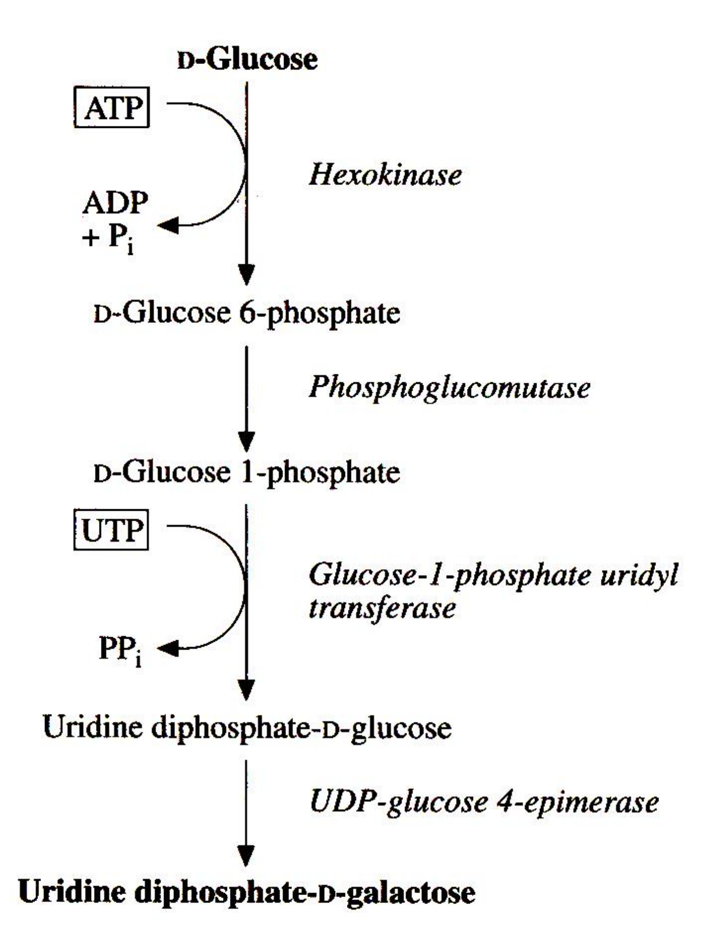
ينتج اللاكتوز (سكر اللبن) بكميات كبيرة في الغدد اللبنية في حيوانات اللبن، وهو يتكون عن طريق تكثف جزيء جلوكوز وجزئ جالاكتوز. ويتوفر مصدر الجلوكوز بسهولة ولكن الجالاكتوز يجب تخليقه كلياً وعملياً، من الجلوكوز، و يتضمن هذا تغير في ترتيب الوضع النسبي عند ذرة الكربون 4. ويتحول أولاً الجلوكوز إلى جلوكوز -1- فوسفات ثم إلى UDPG ومن ذلك يتكون UDP – galactose بفعل إنزيم UDP galactose -4- epimerase كما هو موضح في شكل 21.9.

ويتكون بعد ذلك اللاكتوز بفعل UDP-D-galactose في وجود نظام Lactose Synthetase:

$$\mathbf{UDP - galactose + D - glucose \xrightarrow{\text{Lactose synthetase}} UDP + Lactose}$$

إن نظام Synthetase مركب من إنزيم galactosyl transferase مع α - lactalbumin، و يحفز هذا الإنزيم ارتباط الجالاكتوز مع بروتين يحتوي قطعة كربوهيدرات؛ α – لاكتوالبيومين يغير خصوصية الإنزيم وبهذا يحفز ارتباط الجالاكتوز إلى الجلوكوز. ويوجد الإنزيم في الغدة غير المدرة للّبن ولكن نشاطه غير فعال. و ينتج عند

بداية الإدرار α – لاكتوالبيومين في الغدة و يصبح في وجوده الإنزيم نشطاً جداً في حفز الارتباط.



شكل 21.9 تحويل الجلوكوز إلى uridine diphosphate-galactose

ويمكن تقييم كفاءة الطاقة في تخليق اللاكتوز كما يلي:

	طاقة منفقة (KJ)	طاقة مخزنة (KJ)
2 مول جلوكوز	5606	
2 مول جلوكوز إلى 2 مول جلوكوز– 1– فوسفات	170.8	
1 مول جلوكوز – 1 – فوسفات إلى UDP – galactose	85.4	
طاقة مطلوبة لواحد مول لاكتوز	5862.2	
طاقة محتجزة في واحد مول لاكتوز		5648.4

$$0.96 = \frac{5648.4}{5862.2} = \text{كفاءة فعالية الطاقة}$$

إن تقدير كفاءة فعالية الطاقة الذي تم وصفه، بالرغم من انه ذو أهمية، يجب ألاّ يعطى ذلك الحجم نظراً لأن صحته تعتمد على عدد من العوامل تشمل افتراضات للاقتران التام والظروف المثالية وكذلك توفر مواد المصدر.

التحكم في الأيض Control of metabolism

على الكائن الحي التكيف مع بيئات داخلية وخارجية متغيرة باستمرار، ولكي يتم هذا يجب ترسيخ اتصالات فعالة بين الخلايا. تمتم تلك الاتصالات بجهازين مميزين ولكنهما متكاملان، الأول وهو الجهاز العصبي بإطار فيزيائي ثابت؛ الثاني وهو جهاز الغدد الصماء مستعملاً هرمونات تُنقل من الغدد المفرزة إلى الأنسجة المستهدفة المختلفة. ويمكن توضيح

التكامل جيدا بواسطة مثالين. يخلّق هرمون الفاسوبريسين Vasopressin في الهايبوثالامس hypothalamus وينقل على طول ألياف عصبية إلى الغدة النخامية والتي يفرز منها؛ ومن ناحية أخرى فإن هرمونات معينة مثل الأنسولين والهرمون المحفز لقشرة الكضرية (ACTH) لها مواقع استقبال داخل الدماغ. و لا تبدأ الهرمونات العمليات ولكنها تتحكم في تنظيم العمليات القائمة. و تقوم بهذا بواسطة التأثير في معدلات تخليق وهدم الانزيمات وبالتأثير في كفاءة الحفز الأنزيمي و نفاذية أغشية الخلية. ويجب أن تحدث التفاعلات الكيميائية عند المستوى الخلوي، بمعدّلات متوافقة مع الاحتياجات الكلية للكائن الحي ويتحقق هذا بالتحكم في نشاط الأنزيم والذي يعتمد بدوره على:

أ. كمية الأنزيم المتاحة والناتجة من التخليق والهدم؛

ب. وجود الأنزيم في صورة غير نشطة أو سابق الأنزيم (proenzyme) ويعتمد أثر الأنزيم بعد ذلك على وجود عوامل معينة محللة للبروتين proteolytic agents والتي تعرض أو تخلق مواقع نشطة على سابق الأنزيم، والنموذج لذلك هي الأنزيمات المتعلقة بالهضم وتخثر الدم؛

ج. حدوث عمليات معينة في حجيرات داخل العصارة الخلوية أو عضيات الخلية، ويتم ذلك بواسطة عدم نفاذية الأغشية لعبور مواد معينة ناشئة عن الأيض. و قد يتم التغلب على عدم النفاذية بواسطة أنظمة تبادل المرور shuttle والتي تتطلب أشكالاً سيتوبلازمية وعضيات بنفس النشاط التحفيزي و يوفر هذا قياس لتحكم دقيق خلال إتاحة مادة التفاعل.

د. وجود البروتينات المرتبطة مع الأنزيمات والتي تثبط نشاطها، والمواد التي تكوّن مركباً معها وتجعلها غير متيسرة، الأيونات المعدنية الأساسية لنشاط أنزيمات معينة؛

هـ. وجود البروتينات، التي تغير خصوصية الأنزيم. إن دور α – لاكتو البيومين في حالة إنزيم galactosyl transferase يعتبر مثالاً جيداً. يكون مستوى α – لاكتو البيومين تحت سيطرة هرمونية وهكذا تخليق اللاكتوز هو الآخر؛

و. سيرعملية تثبيط التغذية الرجعية The operation of feedback inhibition، من المحتمل أن تكون هذه هي اكبر آلية تنظيمية شائعة في الأيض. يثبط نشاط الأنزيم في هذه الحالة، عن طريق وجود نواتج نهائية للتفاعل أو المسار. ففي تخليق الفالين من البايروفيت، مثلاً، تكون الخطوة الأولى هي تكوين أسيتو اسيتيت، مُحفز بإنزيم acetoacetate synthetase، ويتناقص نشاط هذا الأنزيم ومعدل تكون الفالين بواسطة وجود الفالين. وتنشأ حالة مشابهة عند تراكم نواتج نهائية تؤثر في معدل التفاعل أو المسار بواسطة تأثير الكتلة البسيط A simple mass action effect. وعلى سبيل المثال، يتم التحكم في معدل هدم (تحلل) الجلوكوز خلال مسار Embden- Meyerhof بواسطة التفاعل:

$$\textbf{1,3–diphosphoglycerate + ADP + } P_i \rightarrow \textbf{3–phosphoglycerate + ATP}$$

عندما تُستغل ATP بسرعة فإن تحللها يضمن مخزوناً وافراً من ADP وحمض الفوسفوريك لهذا يتواصل التفاعل بسرعة من اليسار إلى اليمين ومن ناحية أخرى إذا لم تستغل ATP فإن مخزون ADP والفوسفات غير العضوي يتناقص وكذلك سرعة التفاعل.

مراجع الفصل التاسع

1. Mathews C K and Van Holde K E 1990 *Biochemistry*, 1st edn. Redwood City, CA, Benjamin Cummings Publishing Co.
2. Murray R K, Granner D K, Mayes P A and Rodwell V W 1993 *Harper`s Biochemistry* 23rd edn, USA, Appleton & Lange.
3. Stryer L 1988 *Biochemistry,* 3rd edn. San Francisco, W H. Freeman.

الفصل العاشر

تقييم الأغذية

(أ) معامل الهضم

تقييم الأغذية Evaluation of foods

(أ) معامل الهضم (A Digestibility)

يشير هذا الفصل إلى التغير من التغذية النوعية إلى الكمية. وقد أوضحت الفصول التي سبقته تلك المواد المطلوبة من قبل الحيوان، وكيفية توفرها في الغذاء والطريقة التي تستغل بها. ويتعلق هذا الفصل والتي تليه مباشرة بتقدير، أولاً، كميات العناصر الغذائية التي يوفرها الغذاء، وثانياً، الكميات المطلوبة من قبل الأنواع المختلفة من حيوانات المزرعة.

إن قيمة الغذاء الكامنة في توفير عنصر غذائي معين يمكن تحديدها بواسطة التحليل الكيميائي، لكن قيمة الغذاء الفعلية للحيوان يمكن الوصول إليها فقط بعد الأخذ في الاعتبار كل الفقد الذي لا يمكن تجنبه والذي يحدث أثناء الهضم، الامتصاص و الأيض. ولعلّ الضريبة الأولى التي تفرض على الغذاء هي تلك المتمثلة في الجزء غير الممتص والخارج مع الروث.

ويعرف معامل الهضم للغذاء (**Digestibility**) بدقة أكثر بأنه النسبة التي لا تفرز في الروث وعليه يفترض بأنها امتصت بواسطة الحيوان، ويعبر عنه عادة بمصطلحات المادة الجافة كمعامل أو نسبة مئوية وكمثال لذلك لو أكلت بقرة 9 كيلوجرامات من الدريس الذي يحتوي 8 كيلو جرامات مادة جافة وأخرجت 3 كيلوجرامات من المادة الجافة في روثها فإن معامل الهضم للمادة الجافة للدريس تصبح:

$$\frac{8-3}{8} = 0.625 \text{ أو } 100 \times \frac{8-3}{8} = 62.5\ \%$$

معاملات الهضم لكل مكون من المادة الجافة يمكن حسابها بنفس الطريقة، بالرغم من الافتراض العام بان النسبة من الغذاء والتي لم تخرج مع الروث تكون مساوية للممتصة من القناة الهضمية، إلا أن هناك اعتراضات لهذا الافتراض وهذا ما سيتم مناقشته فيما بعد.

قياس معامل الهضم Measurement of digestibility

يتم في تجربة معامل الهضم تقديم الغذاء المراد اختباره إلى الحيوان بكميات معلومة مع قياس كمية الروث الخارج. ويستخدم أكثر من حيوان واحد، وذلك بالدرجة الأولى لأن الحيوانات تختلف في قدرتها الهضمية حتى ولو كانت من نفس النوع والعمر والجنس، وثانياً أن التكرار replication يسمح بفرصة أكثر لاكتشاف الأخطاء في القياسات.

عند استخدام الثدييات في التجارب، تفضل ذكور الحيوانات عن الإناث نظرا لسهولة تجميع الروث والبول مفصولين في الذكور. ويجب أن تكون هادئة وسليمة من الأمراض، ويتم حصر حيوانات صغيرة في أقفاص الأيض حيث يفصل الروث عن البول بمناخل معدة لذلك، لكن الحيوانات الكبيرة مثل الأبقار يتم تجهيزها بعدة harness و تصنع أكياس تجميع الروث من المطاط أو مواد مشابهة غير نفاذة للسوائل. و يتم عند استخدام إناث الحيوانات توفير أدوات خاصة توجه الروث إلى أكياس بينما تحوّل البول، و هناك أدوات مشابه يمكن استخدامها للأغنام. ويكون تحديد القيمة الهضمية للدواجن

معقداً لكونها تتخلص من الروث والبول من فتحة مفردة وهي المجمع (المذرق) Cloaca. وتكون المركبات الموجودة في البول نيتروجينية بصورة رئيسية ويمكن فصل الروث عن البول كيميائياً إذا أمكن فصل المركبات النيتروجينية في البول عن الموجودة في الروث. ويعتمد الفصل على حقيقة أن معظم نيتروجين البول يكون في صورة حمض البولينا (Uric acid) أو أن معظم نيتروجين الروث يوجد كبروتين حقيقي، ومن الممكن تحوير التركيب التشريحي للطير بواسطة عملية جراحية لكي يخرج الروث والبول مفصولين.

ويجب أن يكون الغذاء المخصص للتجربة مخلوطاً بعناية مسبقاً إن أمكن، وذلك للحصول على مكونات متماثلة. ويعطى بعد ذلك للحيوانات على مدى أسبوع على الأقل قبل بداية تجميع الروث، وذلك لكي تتعود الحيوانات على الغذاء ولتنظيف القناة الهضمية من بقايا الأغذية السابقة. و تتبع هذه الفترة التمهيدية فترة يتم فيها تسجيل الغذاء المأكول والروث الخارج، ويكون طول هذه الفترة التجريبية من 5 إلى 14 يوماً ويفضل أن تكون فترة أطول لأنها تعطي أكثر دقة. و يمكن في حالة الحيوانات ذوات المعدة البسيطة تحديد الروث الناتج من دخول غذاء معين بواسطة مواد ملونة غير مهضومة مثل أكسيد الحديديك أو الكارمين (صبغة قرمزية) تضاف إلى الوجبة الأولى والأخيرة من الفترة التجريبية؛ حيث يتم تأخير بداية ونهاية تجميع الروث حتى يبدأ ظهور واختفاء الصبغة من الفضلات Excreta. وتكون هذه الطريقة غير ناجحة في المجترات بسبب اختلاط الوجبة المصبوغة بأشياء أخرى في الكرش، و تؤخذ بدلاً عن ذلك فترة زمنية اعتباطية من 24 إلى 48 ساعة لإتاحة المجال

لمرور بقايا الغذاء، أي أن قياس الروث الخارج يبدأ من 1 - 2 يوم بعد تناول ذلك الغذاء، ويستمر لنفس الفترة بعد نهاية تناول الغذاء.

ومن المفضل جداً في كل تجارب الهضم وخاصة في المجترات وجوب أعطاء الوجبات في نفس الوقت يومياً ويجب كذلك ألاّ يختلف الغذاء المأكول من يوم إلى أخر. عندما يكون تناول الغذاء غير منتظم فإن هناك احتمالية، مثلا، تأخر إخراج كل الروث الناتج عندما تكون الوجبة الأخيرة أكثر من المعتاد وذلك قبل نهاية فترة تجميع الروث. يكون الروث الخارج في هذه الحالة أقل من الكمية الفعلية و تصبح القيمة الهضمية أعلى من القيمة الفعلية. وتكتمل التجربة بواسطة تحليل عينات الغذاء المستخدمة والروث المجمع. ويعطي جدول1.10 مثالاً لتجربة القيمة الهضمية وفيها غذيت أغنام على دريس لفترة تمهيدية استمرت 14 يوماً تلتها فترة تجريبية من 10 أيام، والنتائج هي متوسطات لثلاثة حيوانات و يمكن تلخيص الحسابات كما يلي:

1. كان متوسط كمية المادة الجافة المستهلكة من الدريس1.63 كجم/رأس/ يوم، و كان متوسط كمية المادة الجافة الخارجة في الروث 0.76 كجم /رأس/ يوم. تم تحليل كل من الدريس والروث، والنتائج موضحة في الجزء (1) من جدول1.10.

2. من هذه البيانات التحليلية وكميات المادة الجافة المستهلكة والخارجة والكميات من العناصر الغذائية الفردية المستهلكة، الخارجة و– بطريقة الفرق– المهضومة تم حسابها كما هو موضح في الجزء 2 من الجدول.

3. تم حساب معاملات الهضم وذلك بالتعبير عن أوزان العناصر الغذائية كنسب من الأوزان المستهلكة مثلاً ($\frac{0.87}{1.63} = 0.534$)؛ انظر الجزء 3 من الجدول.

4. أخيراً، تم حساب مكونات الدريس في صورة عناصر غذائية قابلة للهضم (على سبيل المثال $919 \times 0.560 = 515$)؛ انظر الجزء 4 من الجدول.

تكون الصيغة العامة لحساب معاملات الهضم والتي تجمع المراحل 34 , السابقة:

$$\frac{\text{العنصر الغذائي المستهلك} - \text{العنصر الغذائي في الروث}}{\text{العنصر الغذائي المستهلك}}$$

جدول 1.10 : **نتائج تجربة لتحديد معامل الهضم غذيت فيها ثلاث من الضأن على الدريس.**

	مادة جافة	مادة عضوية	بروتين خام	مستخلص الإيثير	ألياف المنظف الحمضي
(1) التحاليل (جرام/كيلوجرام مادة جافة)					
الدريس	–	919	93	15	350
الروث	–	870	110	15	317
(2) العناصر الغذائية (كجم/ يوم)					
المستهلك	1.63	1.50	0.151	0.024	0.57
الخارج	0.76	0.66	0.084	0.011	0.24
المهضوم	0.87	0.84	0.067	0.013	0.33
(3) معاملات الهضم					
	0.534	0.560	0.444	0.541	0.579

(4) العناصر الغذائية القابلة للهضم (جم/كجم مادة جافة)

	-	515	41	8	203

في هذا المثال كان الغذاء المختبر غذاءً خشناً وقد أمكن إعطاؤه للحيوانات كمادة وحيدة من الغذاء. ومن ناحية أخرى، فقد تؤدي الأغذية المركزة إلى اضطرابات هضمية إذا أعطيت بمفردها للمجترات، وعليه فإن القيمة الهضمية لها تحدد عادة بان تعطي متحدة مع غذاء خشن ذي قيمة هضمية معروفة. ولهذا أمكن استخدام الدريس في المثال السابق في تجربة ثانية حيث تحصلت الأغنام أيضاً على 0.50 كجم من الشوفان/يوم. إذا كان محتوى الشوفان من المادة الجافة هو 900 جم/كجم، فقد يزداد تناول المادة الجافة اليومي حوالي 0.45 كجم، إذا زاد الروث الخارج من 0.76 إلى 0.91 كجم لكل يوم يمكن حساب القيمة الهضمية للمادة لجافة في الشوفان كالأتي:

$$\mathbf{0.667} = \frac{0.15-0.45}{0.45} = \frac{(0.76-0.91)-0.45}{0.45}$$

وقد تمت الإشارة في هذا المثال إلى الدريس على انه الغذاء الأساسي والشوفان كغذاء الاختبار. و تكون الصيغة العامة لحساب القيمة الهضمية لغذاء الاختيار:

العنصر الغذائي في غذاء الاختبار – (العنصر الغذائي في الروث – العنصر الغذائي في الروث من الغذاء الاساسي)
____
العنصر الغذائي في غذاء الاختبار

طرق خاصة لقياس القيمة الهضمية

Special methods for measuring digestibility

طرق استخدام الدليل Indicator methods

في بعض الحالات كنقص الأدوات الملائمة أو لطبيعة خاصة في التجربة تجعل القياس المباشر للمأكول من الغذاء أو الروث الخارج أو كليهما غير قابل للتطبيق. مثلاً، عندما تغذّى الحيوانات في مجموعة يكون من غير الممكن قياس المأكول من الغذاء لكل فرد على حده. من ناحية ثانية، فان قياس القيمة الهضمية ممكن فيما لو احتوى الغذاء بعض المواد المعروفة بأنها غير قابلة للهضم كلياً. فإذا تم تحديد تركيزات مادة هذا الدليل في الغذاء وفي عينات صغيرة من الروث لكل حيوان، فإن النسبة بين هذه التركيزات تعطي تقديراً للقيمة الهضمية. وعلى سبيل المثال، إذا زاد تركيز الدليل من 10 جم/كجم في المادة الجافة للغذاء إلى 20 جم/كجم في الروث هذا فإن يعني بان نصف المادة الجافة قد تم هضمه وامتصاصه وفي صورة معادلة:

القيمة الهضمية = (جم دليل /كجم روث – جم دليل/كجم غذاء) / (جم دليل/ كجم روث)

قد يكون الدليل مكوناً طبيعياً من الغذاء أو مادة كيميائية مخلوطة به وانه لمن الصعب خلط مواد كيميائية مع أغذية مثل الدريس ولكن قد يستعمل مكون غير قابل للهضم مثل الخشبين Lignin.

وتستخدم الآن دلائل أخرى وهي أجزاء من الغذاء معروفة مثل ألياف المنظف الحمضي غير القابل للهضم والرماد غير القابل للذوبان في الحمض (الأخير معظمه سيليكا)، وكذلك بعض الالكينات (n-alkanes) ذوات السلسلة الطويلة ($C_{35} - C_{25}$) التي توجد طبيعياً. ويضاف الكروم عادة للأغذية كدليل في صورة أكسيد الكروم Cr_2o_3، ويكون أكسيد الكروم عديم الذوبان وبالتالي غير قابل للهضم إضافة إلى ذلك فانه من غير المحتمل وجود الكروم كجزء رئيسي في الغذاء، وقد يضاف أكسيد التيتانيوم إلى الأغذية لاستخدامه كدليل.

يمثّل قياس القيمة الهضمية للعلف المأكول بواسطة الحيوانات في المرعى مشكلة خاصة. ومن ناحية نظرية، فان مكونات العلف الطبيعية مثل الخشبين قد تستخدم كبدائل، ويكون تطبيق طرق استخدام الدليل معقداً من الناحية العملية لصعوبة الحصول على الغذاء (مثل علف المرعى) الذي يمثل المستهلك حقاً. ترعى الحيوانات بطريقة اختباريه مفضلة النبات النامي عن النبات الناضج، والورقة عن الساق، لذلك فانه من المحتمل أن عينه مأخوذة من حقل أعشاب قد تحتوي تركيزاً مرتفعاً من المكونات الليفية (تشمل الخشبين) مقارنة بما يجمعه الحيوان عن طريق الرعي. طريقة واحدة للحصول على عينات ممثلة وهي استخدام الحيوان الذي به ناسورة بالمريء (فتحة من تجويف المريء إلى سطح الجلد).

عندما تغلق بسدادة فان الغذاء يمر بصورة اعتيادية بين الفم والمعدة، وعند إزالة هذه السدادة مؤقتاً، فان العلف المستهلك يمكن تجميعه في كيس معلق أسفل الناسورة. ويمكن تحليل عينات العلف التي تم الحصول عليها بالرعي مع عينات الروث وما بها من دليل.

طرق معملية لتقدير معامل الهضم

Laboratory methods of estimating digestibility

حيث أن إجراء تجارب معامل الهضم عملية مجهدة، فقد كانت هناك محاولات لتحديد معامل الهضم للأغذية في المعمل بواسطة إنتاج التفاعلات التي تحدث في القناة الهضمية للحيوان. وليس من السهل تمثيل الهضم في غير المجترات بكاملة، لكن معامل الهضم للبروتين قد تُحدد معملياً عن طريق حساسيته للتأثر بإنزيم البيبسين وحمض الهيدروكلوريك. ومن الممكن أيضاً تجميع إفرازات القناة الهضمية عن طريق أنبوبة صغيرة تُدخل في الجسم " Cannula " واستخدام هذه الإفرازات لهضم الأغذية معملياً.

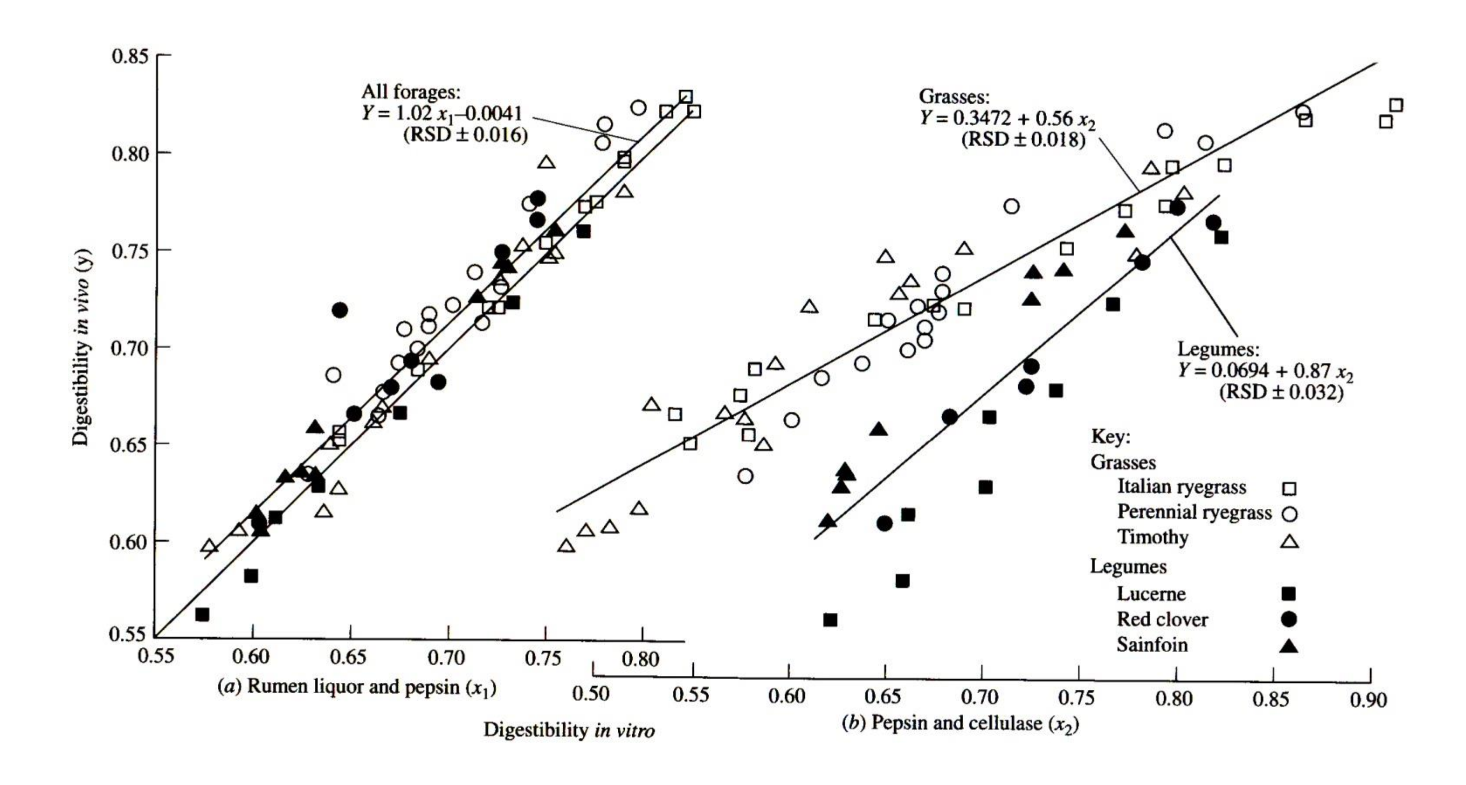
يمكن قياس معامل الهضم لأغذية المجترات على نحو دقيق تماماً في المختبر وذلك بواسطة معاملتها أولاً بسائل الكرش ثم بإنزيم البيبسين. خلال المرحلة الأول فيما يعرف بطريقة المرحلتين المعملية " two– stage in vitro " يتم تحضين عينة من الغذاء المطحون لدرجة النعومة وذلك لمدة 48 ساعة مع سائل الكرش المنظّم في أنبوبة وتحت ظروف لا هوائية، وفي المرحلة الثانية يتم قتل البكتيريا عن طريق إضافة حمض الهيدروكلوريك وجعل الرقم الهيدروجيني pH حمضي (2) وبعد ذلك تهضم محتويات الأنبوبة بتحضينها مع إنزيم البيبسين

لمدة 48 ساعة أخرى. تُرشح البقايا غير الذائبة، وتجفف، وتحرق ثم يطرح ما بها من مادة عضوية من الموجود في الغذاء للحصول على تقدير للمادة العضوية القابلة للهضم. ويكون معامل الهضم المحدد معملياً بصفة عامة أقل من المحدد على الحيوان، وتحتاج إلى معادلة تصحيحية لربط كل قياس بالأخر، ومثالاً لذلك موضح بالرسم التخطيطي في شكل 1.10(a).

تستخدم هذه التقنية في الوقت الحاضر لتحديد معامل الهضم لعينات صغيرة من الأعلاف الخشنة المزرعية وذلك للأغراض الاستشارية ومثال ذلك التي تتوفر عند المختصين في تربية النبات. وهناك تطبيق إضافي تقدمه هذه التقنية في تقدير معامل الهضم لأعلاف المرعى عندما يتم تجميعها من الحيوان بناسورة المريء كما تم وصفه سابقاً.

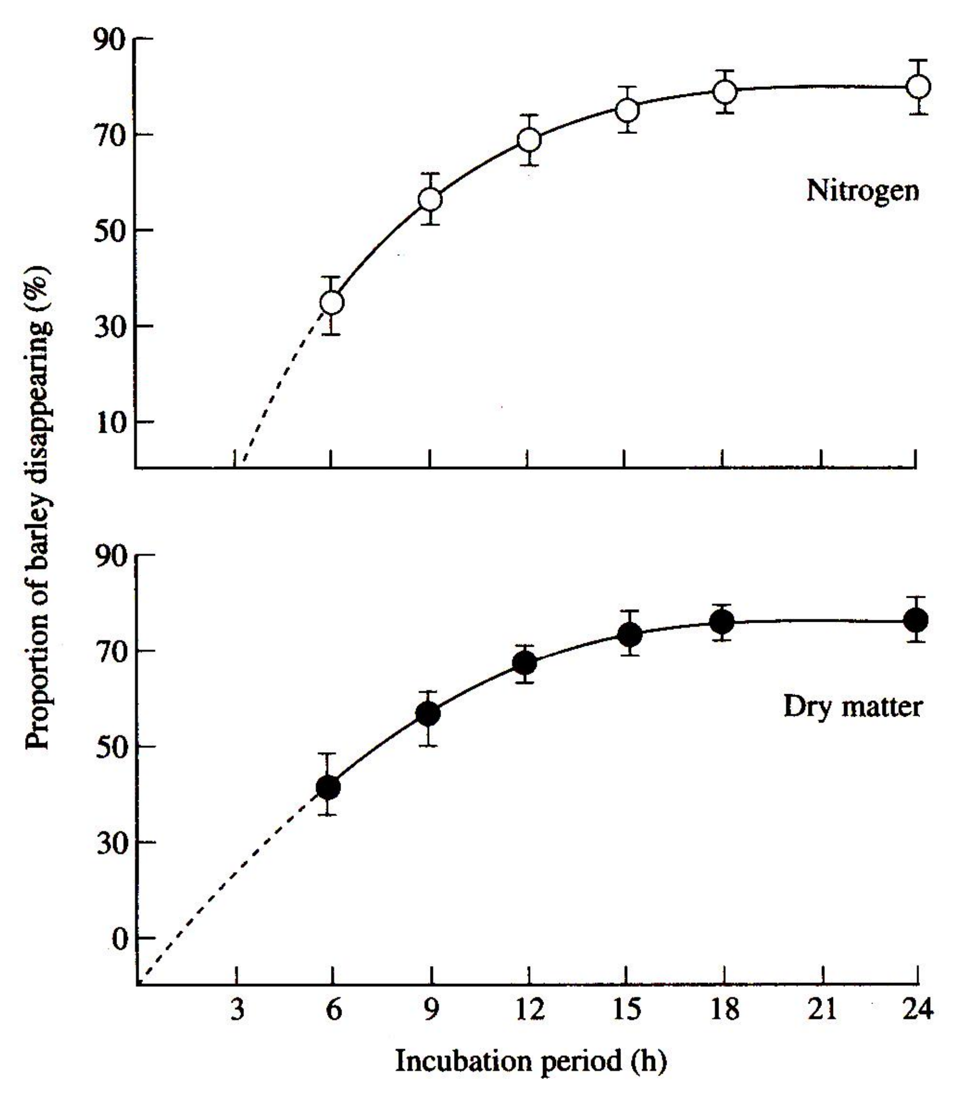
وقد يختلف سائل الكرش المستخدم في المرحلة الأولى لهذه الطريقة المعملية وذلك في صفاته التخمرية تبعاً لغذاء الحيوان الذي جمّع منه هذا السائل. و يتم في بعض الأحيان استبدال سائل الكرش بمستحضرات من أنزيم السيليوليز الفطري وذلك للحصول على تقديرات معتمدة للقيمة الهضمية. و يوضح الشكل 1.10(b)كيفية استخدام التحضين مع إنزيم البيبسين متبوعاً بالتحضين مع إنزيم السيليوليز لتقدير معامل الهضم للأعلاف المعطاة للضأن. من ناحية ثانية، فان العلاقة في الشكل 1.10 (b) أقل ارتباطاً مما تم إيجاده لنفس الأعلاف بين معامل الهضم التي تم تقديرها عن طريق التخمير بسائل الكرش والتي تم تحديدها في الضأن شكل 1.10 (a). وتحتاج طريقة إنزيم البيبسن مع السيليوليز معادلات تنبؤ منفصلة للأعشاب والبقوليات، وكانت الانحرافات القياسية Residual Standard Deviations لهذه المعادلات أكبر من المعادلة الفردية المستخدمة في طريقة سائل الكرش مع

البيبسين. إن الحيوانات المزودة بناسورة لتوفير سائل الكرش لتقدير معامل الهضم قد تستخدم بطريقة مختلفة للتقييم السريع للقيمة الهضمية لعينات صغيرة من الأغذية. توضع عينات الغذاء الصغيرة (3 -5 جرام من المادة الجافة) في أكياس صغيرة معده من النسيج الاصطناعي المنفذ، بها فتحات بحجم قياسي (400 - 1600 ميكرو متر^2)، يتم إدخالها في الكرش خلال أنبوبة وتحضن هناك لمدة 24 - 48 ساعة. عند سحبها فان كل كيس يغسل ويجفف لتحديد الكمية المتبقية من المادة الجافة للغذاء على أنها مواد غير مهضومة وتعرف هذه التقنية بتحديد معامل الهضم (*in Sacco*) (انظر الشكل 2.10). وهناك مشاكل في استخدامها، وتنشأ بدرجة خاصة من الحاجة إلى اختيار فترة ملائمة من التحضين. ويمكن استخدام المنحنيات المبينة في شكل2.10 لتوفير معلومات أكثر حول هضم الغذاء بواسطة معادلات ملائمة لها؛ ويتم شرح هذا النظام في فصل 13.



شكل 1.10 طرق معملية لتقدير معامل الهضم للمادة الجافة للأعلاف (a) تحضين في سائل الكرش متبوعا بالهضم بواسطة البيبسين، (b) هضم بواسطة البيبسين متبوعا بالهضم بواسطة السيليوليز .

(From Terry R A et al. 1978 *J. Br. Grassld Soc*., 22,13)



شكل 2.10 اختفاء المادة الجافة والنيتروجين لعينات شعير تم تحضينها في أكياس نسيج اصطناعي في كرش الأغنام. تشير الخطوط العمودية إلى الاختلافات بين تكرار العينات، معبراً عنها بالانحرافات المعيارية. **(From Mehrez, A Z and Ørskov, E R 1977 *J. Agric. Sci., Camb*.,88,645)**

صلاحية معاملات الهضم Validity of digestibility coefficients

إن افتراض إمكانية تحديد النسبة المهضومة والممتصة من الغذاء عن طريق طرح الجزء الخارج في الروث أمر مطروح للتساؤل وذلك لاعتبارين. الأول، بالنسبة للمجترات فان غاز الميثان الناتج من تخمر الكربوهيدرات يفقد بواسطة التجشؤ ولا يمتص، و يؤدي هذا الفقد إلى تقييم أعلى من الحقيقي لمحتوى الكربوهيدرات والطاقة المهضومة في أغذية المجترات.

ويأتي الخطأ الأكثر خطورة من حقيقة أن ليس كل الروث هو بقايا غذاء غير مهضوم فعليا. حيث أن جزءاً من مواد الروث عبارة عن إنزيمات وإفرازات أخرى في القناة الهضمية غير قابلة للامتصاص مرة أخرى، بالإضافة إلى مواد خلوية فقدت من بطانة القناة. ولهذا، إذا غذّي خنزير على غذاء خالٍ من المواد النيتروجينية فانه يستمر في إفراز النيتروجين في الروث وحيث أن هذا النيتروجين مشتق من الجسم وليس مباشرة من الغذاء فهو معروف بنيتروجين الروث الأيضي Metabolic Fecal Nitrogen. و تكون الكميات المفرزة منه في تناسب تقريبي مع المادة الجافة المتناولة من قبل الحيوان. ويحتوي الروث كذلك على كميات يمكن إدراكها من المواد القابلة للاستخلاص بالايثر والمعادن وهذه من أصل أيضي. إن البعض من جزء رماد الروث هو من مساهمة العناصر المعدنية التي تم إفرازها في القناة الهضمية، وهذا بسبب أن الروث يعمل كمسلك للإخراج الحقيقي لمعادن معينة، وخاصة الكالسيوم.

إن إخراج مواد في الروث ليست ذات منشأ مباشر من الغذاء يؤدي إلى تقدير أقل من الفعلي لنسبتها في الغذاء والتي امتصت فعلياً بواسطة الحيوان.

لذلك فان القيم التي تم الحصول عليها من تجارب معامل الهضم تسمى معاملات الهضم الظاهرية " *Apparent Digestibility* Coefficients " وذلك لتمييزها عن معاملات الهضم الحقيقية " Coefficients of *true Digestibility* ". ويكون من الصعب عملياً تحديد معاملات الهضم الحقيقية وذلك لأنه في معظم الحالات تكون الأجزاء التي تنسب إلى الغذاء غير مميزة عن تلك التي تنسب إلى الحيوان. إن معاملات الهضم الظاهرية للمكونات العضوية للغذاء تكون كافية لعدة أغراض، وهي تمثل جوهر النتيجة للمستهلك من الغذاء، ومن ناحية أخرى قد تكون المعاملات الظاهرية لبعض العناصر المعدنية غير ذات معنى.

الهضم ومعامل الهضم في الأجزاء المختلفة من القناة الهضمية

Digestion and digestibility in the various sections of the tract

كما هو مبين في الفصل 8، فان العناصر الغذائية قد يتم امتصاصها في أجزاء متعددة من القناة الهضمية، وفي غير المجترات أيضاً، يحدث الامتصاص في جزأين مختلفين تماماً، وهما الأمعاء الدقيقة والغليظة و يتم في المجترات امتصاص الأحماض الدهنية الطيارة من الكرش. إن المكون الغذائي الذي يهضم (و يمتص) في جزء ما قد تنشأ عنه عناصر غذائية مختلفة جداً عن تلك الناتجة عن هضمه في مكان أخر، ولهذا فان قيمته الغذائية للحيوان لا تعتمد فقط على مدى هضمه (أي قيمته الهضمية) ولكن تعتمد أيضاً على مكان هضمه. مثال ذلك كربوهيدرات مثل النشا قد يتخمر في الكرش إلى أحماض دهنية طيارة (

وغاز ميثان) أو يهضم في الأمعاء الدقيقة إلى جلوكوز. وتقاس معامل الهضم للأغذية في الأجزاء المتتالية من القناة الهضمية بصورة ملائمة وذلك بواسطة تشخيص القناة عند نقاط مختارة، هذا وقد تم الإشارة إلى ناسورة المريء. وقد تجري الناسورة أيضاً بين الجيب الظهري الحلقي للكرش وخاصرة الحيوان. وتزود تلك الناسورة عادة بسدادة مطاطية أو بلاستيكية دائمة ملولبة القمة والفوهة معروفة بما يسمى الكانيولا " Cannula " ويمكن إخراج عينات من محتويات الكرش بواسطة نزع السدادة. مثل هذه الكانيولا ولكن أصغر منها قد تدخل في منفحة الحيوان أو في مواقع مختارة من الأمعاء الدقيقة أو الغليظة وقد تزود الأمعاء كذلك بكانيولا Cannula لإعادة دخول المحتويات re-entrant Cannula.

وهكذا فإن الأمعاء تقطع وتجتذب كلا النهايتين قريباً من سطح الجلد وتوصل ببعضها بواسطة أنبوبة مارة خارج الحيوان. بوجود الأنبوبة بهذا الوضع فإن مواد الهضم digesta تنساب طبيعياً من الأجزاء القريبة إلى الأجزاء البعيدة من الأمعاء. ومن ناحية أخرى، إذا تم فتح الأنبوبة، من الممكن تجميع مواد الهضم من الجزء الأقرب من الأمعاء، حيث تقاس وتختبر ثم تعاد إلى الجزء الأقصى من الأمعاء. ولهذا فإن هذا النوع من التقنية " The re-entrant cannula " يسمح بقياس مباشر لمحتويات الهضم المتدفقة وبهذا تحسب معامل الهضم بنفس طريقة تجميع الروث. عند استخدام الكانيولا البسيطة simple cannula والتي تسمح بأخذ عينة من محتويات الهضم دون وزنها، فإن معامل الهضم قد يتم تقديرها بواسطة تقنية الدليل كما تم التطرق إليه سابقا. مثال لتقدير الهضم في الأجزاء

المتتالية من القناة الهضمية باستخدام حيوانات مزودة بكانيولا canulated animal موضح في جدول 2.10

جدول 2.10 هضم أعشاب جافة مقطعة أو مطحونة أو محببة في أجزاء متتالية من القناة الهضمية

After Beever D E , Coelho da Silva J P , Prescott J H D and Armstrong D G , 1972 *Br . J. Nutr.*, 28, 347

العنصر غذائي : ←	مادة عضوية		سيليولوز	
شكل الأعشاب : ←	مقطع	محبب	مقطع	محبب
النسبة المهضومة في :				
المعدة	**0.52**	**0.45**	**0.80**	**0.56**
الأمعاء الدقيقة	**0.27**	**0.20**	**0.02**	**- 0.02**
الأمعاء الغليظة	**0.04**	**0.13**	**0.05**	**0.23**
الإجمالي	**0.83**	**0.78**	**0.87**	**0.77**

لقد تم في التجربة السابقة تزويد الضأن بكانيولا في الإثنى عشر والمعي الأوسط بحيث أمكن تقسيم الهضم بين المعدة، الأمعاء الدقيقة والأمعاء الغليظة. و كان إجمالي معامل الهضم للمادة العضوية للأعشاب المحببة (0.78) أقل بكثير من مثيلتها للأعشاب المقطعة (0.83)، وتم نقل الهضم الميكروبي في الحالة الأولى (أعشاب محببة) جزيئاً من المعدة (أي الكرش) إلى الأمعاء الغليظة، وكانت هذه الفروق واضحة أكثر في حالة هضم السيليولوز حيث تكون مساهمة الأمعاء الدقيقة فيه طفيفة.

لقد تمت الإشارة إلى تفكك البروتين الغذائي في الكرش وذلك في الفصل الثامن من هذا الكتاب. نيتروجين الغذاء الذي دخل الكرش قد يتركها دون أن يتغير فيما لو اجتاز

البروتين عملية التحلل أو إذا تحلل البروتين فإن النيتروجين سيترك الكرش إما كبروتين ميكروبي، إذا أعيد استخدامه، أو كأمونيا إذا لم يستخدم. وقد يُحدد مصير البروتين الغذائي (أو النيتروجين) في المجترات بواسطة تجميع مواد الهضم digesta من أجزاء متتالية من القناة الهضمية. يقارن الجدول (3.10) هضم النيتروجين في نوعين من عشب الزُوان " ryegrass "، بالرغم من تشابه هذين النوعين من العشب في محتوى النيتروجين الكلي (الصف الأول من الجدول)، فإن هناك فقداً أكثر للنيتروجين - من المعدة من المحتمل بواسطة امتصاص الأمونيا- وهذا بالنسبة للنوع الأول (الصفوف1 - 2 من الجدول). وبشكل عكسي، فإن نيتروجيناً أقل بهذا العشب تم امتصاصه من الأمعاء الدقيقة مقاس كنيتروجين كلي (الصفوف 2 – 3 من الجدول)، بروتين (الصف التاسع من الجدول) أو الأحماض الأمينية (الصف العاشر من الجدول). الفرق بين امتصاص النيتروجين الكلي ونيتروجين البروتين يعكس امتصاص الأمونيا التي وصلت الأمعاء، ويمكن أن يكون معظم الفرق بين البروتين ونيتروجين الأحماض الأمينية بسبب نيتروجين الأحماض النووية للبروتين الميكروبي. ومن المحتمل أن يحدث فقد إضافي من النيتروجين مرة أخرى وفي شكل أمونيا وذلك في الأمعاء الغليظة. وكانت النتيجة النهائية انه بالرغم من أن عشب الزوان ryegrass نوع قصير الأجل short rotation يحتوي نسبياً على نيتروجين اقل وبقيمة هضمية إجمالية اقل فقد زّود الضأن بحوالي 25 % زيادة وذلك فيما يتعلق بالأحماض الأمينية الممتصة مقارنة بعشب الزوانryegrass المعمر، وبالنظر إلى الأخير، فإنه من النيتروجين الكلي الممتص ظاهرياً (32 جرام / يوم) كان اقل من نصفه (14.6) في صورة أحماض أمينية.

تقنية أخرى لدراسة هضم أجزاء محددة من الغذاء في أقسام القناة الهضمية يتضمن استخدام أكياس صغيرة تشابه تلك التي استخدمت في دراسات الهضم في الكرش. فيما يعرف بتقنية أكياس النايلون المتنقلة mobile nylon bag. تدخل أكياس تحتوي عينات صغيرة من الغذاء (0.5 — 1.0 جرام) إلى القناة الهضمية عن طريق cannula (أي إلى المعدة) وفيما بعد تعاد ثانية عن طريق cannula (مثلاً عند اتصال الأمعاء الدقيقة بالغليظة ileo - caecal junction). يؤخذ الفاقد في العناصر الغذائية بين هاتين الفتحتين على انه تم هضمه وامتصاصه، وتستخدم هذه التقنية عموماً في الخنازير.

يقدر معامل الهضم في هذا الجنس في نهاية الأمعاء الدقيقة (ويعرف في بعض الأحيان معامل الهضم اللفائفي ileal digestibility)، ليعطي قياساً أكثر دقة للقيمة الغذائية للغذاء فيما لو أخذ معامل الهضم في كامل القناة الهضمية. نفترض على سبيل المثال بأن كل الايسين في غذاء مرتفع القيمة الغذائية قد تحرر من البروتين وتم امتصاصه بواسطة الخنزير قبل وصول مواد الهضم digesta إلى نهاية اللفائفي (أي أن معامل الهضم للايسين في اللفائفي = 100 %). من جهة أخرى، تمكنت الكائنات الحية الدقيقة في الأمعاء الغليظة والقولون من تخليق لايسين إضافي، وهذا سيفرز في البروتين الميكروبي في الروث ومن ثم يؤدي إلى خفض القيمة الهضمية الظاهري للايسين في كامل القناة الهضمية إلى اقل من 100 %.

جدول 3.10. هضم وامتصاص البروتين بواسطة أغنام أعطيت 800 جم مادة عضوية/يوم من احد النوعين من عشب الزوان ryegrass.

(From MacRae J.C and Ulyatt M J, 1974 J. Agric. Sci., Camb., 82, 309)

عشب زوان short – rotation	عشب زوان معمر		
34.9	37.8	(1) في الغذاء	نيتروجين كلي (جم/يوم)
31.7	27.8	(2) عند الإثنتي عشر	
9.3	9.0	(3) عند نهاية اللفائفي	
6.7	5.8	(4) في الروث	
0.09	0.26	(5) في المعدة	نسبة النيتروجين الغذائي المهضوم
0.64	0.50	(6) في الأمعاء الدقيقة	
0.07	0.08	(7) في الأمعاء الغليظة	
0.80	0.84	(8) الإجمالي	
19.1	15.0	(9) في الأمعاء الدقيقة	النيتروجين الممتص من البروتين (جم/ يوم)[a]
18.3	14.6	(10)في الأمعاء الغليظة	النيتروجين الممتص من الأحماض الأمينية جم/ يوم

a تم حساب البروتين باستخدام العامل 25. 6 (نيتروجين من غير الأمونيا).

العوامل المؤثرة في معامل الهضم Factors affecting digestibility

مكونات الغذاء: Food Composition

يرتبط معامل الهضم للغذاء ارتباطاً وثيقاً بمكوناته الكيميائية، وان غذاء مثل الشعير والذي تتباين مكوناته قليلاً من عينة إلى أخرى قد يظهر اختلافاً بسيطاً في معامل الهضم. وهناك أغذية أخرى، وخاصة الأعشاب الطازجة أو المحفوظة، تكون أقل ثباتاً في مكوناتها وبالتالي تتباين أكثر في معامل الهضم. أن لنسبة الألياف في الغذاء تأثيراً كبيراً على قيمته الهضمية، وتكون كل من كمية الألياف ومكوناتها ذات أهمية.

وتحاول الطرق الحديثة لتحليل الغذاء تمييز أجزاء أغلفة الخلية ومكونات الخلية كل على حده. عندما يتم تسخين العلف مع محلول المنظف المتعادل Neutral detergent solution، تذوب مكونات الخلية وتبقى أغلفة الخلية كراسب يطلق عليه ألياف المنظف المتعادل Neutral detergent fiber. قد يقسّم غلاف الخلية مرة أخرى إلى هيميسيليولوز(قابل للاستخلاص بمحلول المنظف الحمضي) وسيليولوز مع خشبين (أي ألياف المنظف الحمضي) Acid detergent fiber. وغالباً ما تكون مكونات الخلية مهضومة بالكامل (أي أن معامل الهضم الحقيقي = 100 %)، بالرغم من أن معامل الهضم الظاهري سوف يكون 10 – 15 % اقل وذلك بسبب النواتج الأيضية في القناة الهضمية. ويكون معامل الهضم لأغلفة الخلية متباين أكثر ويعتمد ذلك على درجة التخشب "Lignification" وهي في المصطلحات الكيميائية يعبّر عنها بمحتوى الخشبين في ألياف المنظف الحمضي. غير أن معامل الهضم لغلاف الخلية يعتمد أيضاً على تركيب أنسجة النبات، ولهذا يكون معامل الهضم للأعشاب الاستوائية أقل من نظيراتها في المناطق المعتدلة وذلك بسبب احتواء أوراقها

على حزم وعائية أكثر، وعليه يكون الخشبين أكثر، وكذلك بسبب أن لها كتلاً كثيفة من الخلايا تقاوم هجوم الكائنات الحية الدقيقة.

إن معامل الهضم للغذاء قد ينخفض نتيجة نقص أو زيادة العناصر الغذائية أو المكونات الأخرى. وقد وجدت تلك التأثيرات عموماً في معظمهما في المجترات ويتمثل ذلك، على سبيل المثال، في أن نقص نيتروجين الأمونيا أو الكبريت في سائل الكرش سيؤدي إلى الحد من النمو الميكروبي وبالتالي يخفض معامل الهضم للألياف. إن زيادة الليبيدات الغذائية سوف يثبط الكائنات الحية الدقيقة في الكرش وأن المحتوى المرتفع من السيليكا في بعض الأغذية وخاصة تبن الأرز يخفض قيمته الهضمية. وهناك مكونات في أغذية الحيوانات غير المجترة مثل التانينات "tannins" ترتبط مع البروتينات والأحماض الأمينية وتؤدي إلى خفض قيمتها الهضمية.

مكونات العليقة Ration Composition

لا يتأثر معامل الهضم للغذاء فقط بمكوناته الذاتية ولكنه يتأثر أيضاً بمكونات الأغذية الأخرى والتي تستهلك معه، لهذا يمكن معرفة إنه إذا كان معامل الهضم للمادة الجافة لعف خشن هي (0.6) ولعلف مركز (0.8)، فإذا أعطيت متساويتين في عليقة مخلوطة فقد يختلف معامل الهضم للعليقة الكاملة عن القيمة (0.7) المتوقعة. ويمثل هذا التأثير المشترك للأغذية "*associative effect*" تعارضاً خطيراً لتحديد معامل الهضم للمركزات بواسطة الفرق، كما أشير إليه سابقا. وعادة ما تكون التأثيرات المشتركة سلبية (أي أن معامل الهضم للعلائق المخلوطة تكون أقل من المتوقع) ويكون ذلك شديداً عندما تدعم أعلاف

منخفضة النوعية بمركزات نشوية. في هذه الحالات، فإن التخمر السريع للنشا إلى أحماض دهنية طيارة يخفض الرقم الهيدروجيني pH في الكرش إلى 6 أو اقل حيث يعمل الرقم الهيدروجيني المنخفض على تثبيط الكائنات الحية الدقيقة المحللة للسيليولوز ويخفض معامل الهضم للألياف. ويمكن الحد من هذا الانخفاض جزئياً بإضافة عوامل منظمة buffering إلى الغذاء مثل بيكربونات الصوديوم، ولكن بالإضافة إلى تأثيره على الرقم الهيدروجيني يبدو أن للنشا تأثيراً مباشراً على تحلل السيليولوز.

تحضير الأغذية Preparation of Food

إنّ المعاملات الشائعة المطبقة على الأغذية هي التقطيع، الخلط ،الطحن والطبخ. ولكي يتم الحصول على أقصى قيمة هضمية يجب طحن حبوب الغلال للأبقار وطحنها للخنازير، وإلا فإنها قد تمر خلال القناة الهضمية كما هي. غالباً تعتمد الأغنام على مضغ الحبوب الكاملة، وبهذا يمكن تفادي المعاملات الميكانيكية، ولكن إذا أعطيت مع أعلاف خشنة سريعة المرور خلال القناة الهضمية مثل سيلاج الأعشاب فيجب طحنها بالنسبة للأغنام (انظر الفصل 22).

تُعرّض الأعلاف الخشنة إلى عمليات طحن عديدة: حيث تكون عملية الخلط هي العملية المعتدلة ولها تأثير مباشر بسيط على قيمتها الهضمية، ولكن قد تخفضها بطريقة غير مباشرة بواسطة منع اختبارية الحيوانات للمكونات الأكثر قابلية للهضم. إن تكوين رقائق الأعلاف الخشنة wafering هي عملية تتضمن ضغطها في مقاطع من الكتل الكروية أو المربعة، وهذه أيضاً لها تأثير بسيط على قيمتها الهضمية.

العملية الأكثر شدة هي الطحن الشديد (يتبعه غالباً تحبيب)، له تأثير واضح على الطريقة التي يهضم بها العلف الخشن ومن ثم على قيمته الهضمية. وتمر الأعلاف الخشنة المطحونة خلال الكرش أسرع من المواد الطويلة أو المقطعة ولهذا فقد يكون تخمّر مكوناتها الليفية أقل (انظر جدول 2.10)، لذلك فإن طحن الأعلاف الخشنة يخفض معامل الهضم لما بها من ألياف خام بمقدار يصل إلى 20 %، وللمادة الجافة كلها بحوالي 5 – 15 %. يكون أقصى نقص غالباً في حالة الأعلاف الخشنة ذات معامل الهضم المنخفضة فعلياً، وقد يزداد ذلك بواسطة تأثير مستوى التغذية على معامل الهضم حيث أن الطحن يزيد قابلية المجترات للأعلاف الخشنة (انظر الفصل 17).

إن الأعلاف الخشنة مثل أتبان حبوب الغلال، والتي يكون السيليولوز بها مخلوطاً أو مرتبطاً بنسبة عالية من الخشبين "Lignin"، قد يتم معاملتها كيميائياً لفصل هذين المكونين (السيليولوز والخشبين). و تكون عمليات المعاملة وتأثيراتها مبينة بتوسع في الفصل 20. الكيماويات المستخدمة بصورة رئيسية هي القلويات (هيدروكسيدات الصوديوم والأمونيوم) وهي تحسّن معامل الهضم للمادة الجافة لأتبان حبوب الغلال بصورة مثيرة من 0.4 إلى 0.7 – 0.5. وقد تُعرّض الأغذية في بعض الأحيان إلى المعاملة بالحرارة لتحسين قيمتها الهضمية، والشكل التقليدي للمعاملة بالحرارة هو غلي البطاطس للخنازير، لكن الحرارة قد تطبق أيضاً لأغذية أخرى في هيئة بخار ساخن أو عن طريق الإشعاع بموجات كهربائية قصيرة جداً "microwave irradiation" (عملية تعرف بـ micronization). عندما تطبق على الحبوب "cereals" فإن هذه المعاملات تسبب زيادات صغيرة نسبياً في معامل الهضم،

بالرغم من أن الذرة السكرية sorghum تبدو أكثر استجابة من الحبوب الأخرى. وتكون المعاملة بالحرارة أكثر فعالية في تحسين معامل الهضم عندما تستخدم لغرض خاص مثل إبطال نشاط مثبطات أنزيمات الهضم التي توجد في بعض الأغذية. ولعلّ أفضل الأمثلة على هذه المثبطات يكون موجوداً بمركزات البروتين (انظر الفصل 23). البطاطس والمحاصيل الجذرية الأخرى مثل Swede (*Brassica nabus*)، وتحتوي مثبطات أنزيم التريبسين حيث يُبطل نشاطه بالمعاملة بالحرارة؛ إن فائدة مثل هذه المعاملة ليست تحسّن أكثر في معامل الهضم ولكنه نقل هضم البروتين من التخمر في اللفائفي إلى الهضم الأنزيمي الطبيعي في الأمعاء الدقيقة.

إضافة الإنزيمات للأغذية Enzyme Supplementation of foods

حيث أن غير المجترات ليست مجهزة تماماً لهدم العديد من مكونات الأغذية، فقد تضاف مستحضرات من الإنزيمات (عادة من أصل فطري) إلى الأغذية بغية تحسين قيمتها الغذائية. إن إنزيم β - glucanase يعتبر من إضافات الإنزيمات التي تضاف بانتظام إلى الشعير في أغذية الدواجن وقد أثبتت نجاحها في ذلك. عندما تتخطى β - glucans الهضم تظهر في الزرق excerta في شكل هلامي غروي وتؤدي إلى مخلفات لزجة غير مرغوبة " Sticky droppings ". ويبدو كذلك أن هدم الجلوكانز "glucans" يحسن معامل الهضم للغذاء. وقد تمت التوصية كذلك بمستحضرات الإنزيمات هذه لمكونات السكريدات المتعددة الأخرى " Polysaccharides " لحبوب الغلال. الفايتيز "Phytase"

هو مستحضر إنزيمي أخر له القدرة على زيادة معامل الهضم لحمض الفايتيك Phytic acid وبالتالي يقلل الحاجة إلى إضافة الفوسفور في أغذية الحيوانات غير المجترة.

عوامل مرتبطة بالحيوان Animal Factors

إنّ معامل الهضم هو خاصية للغذاء أكثر منه للمستهلك ولكن هذا لا يعني القول بان تقديم غذاء معين لحيوانات مختلفة سيتم هضمه بنفس الدرجة. إن نوع المستهلك هو أهم عامل حيواني، حيث يتم هضم الأغذية منخفضة الألياف بالتساوي بواسطة الحيوانات المجترة وغير المجترة، ولكن الأغذية مرتفعة الألياف تهضم بدرجة أحسن بواسطة المجترات. وكثيراً ما تكون معاملات معامل الهضم الظاهرية للبروتين أعلى عند الخنازير بسبب أن إفرازها للنيتروجين في الروث أقل مما هو في المجترات. وتكون الفروق في القدرة الهضمية بين الأغنام والأبقار قليلة وذات أهمية ضئيلة، ففي معظم الأغذية، ومن ناحية أخرى تميل الأغذية القابلة للهضم – مثل حبوب الغلال– بأنها تهضم بكفاءة بواسطة الأغنام وان الأغذية غير القابلة للهضم – مثل الأعلاف ذوات النوعية الرديئة– بأنها مهضومة بدرجة أحسن بواسطة الأبقار.

مستوى التغذية Level of feeding

عادة ما تؤدي زيادة الكمية المأكولة من قبل الحيوان إلى سرعة معدل مرور مواد الهضم "digesta"، وبذلك فان تعرض الغذاء لفعل الإنزيمات الهاضمة يكون لفترة أقصر وبذلك قد يكون هناك انخفاض في قيمتها الهضمية. وكما هو متوقع فان الانخفاضات

نتيجة زيادة معدلات المرور تكون الأكبر في حالة مكونات الأغذية بطيئة الهضم والمسماة بمكونات غلاف الخلية.

ويعبر عادة عن مستوي التغذية بمضاعف كمية الغذاء التي يتطلبها الحيوان فيما يعرف بحفظ الجسم (أي الكمية التي تحول دون فقد الحيوان للوزن ولكنها لا تسمح بالنمو). ويمكن تعريف هذا المدى كوحدة ففي المجترات المغذاة لحد الشبع يمكن أن يرتفع إلى 2.0 – 2.5 مرة من مستوي الحفظ في الحيوانات النامية أو المسمنة وإلى 3.0 – 5.0 مرة من مستوي الحفظ في الحيوانات المدرة للبن. إن زيادة مستوي التغذية وحدة واحدة (أي من المحافظة على الحياة إلى ضعف ذلك المعدل) يؤدي إلى خفض معامل الهضم للأعلاف الخشنة مثل الدريس السيلاج وأعشاب المرعى بنسبة صغيرة فقط (0.01 – 0.02).

وعندما تحتوي أغذية المجترات على جزيئات ناعمة (مثل مخاليط الأعلاف الخشنة مع المركزات) فان النقص في معامل الهضم لكل زيادة وحدة في مستوى التغذية يكون أكثر (0.02 - 0.03)؛ و قد يعني هذا على سبيل المثال أن معامل الهضم لغذاء نموذجي لبقرة لبن قد تنخفض من 0.75 عند مستوى التغذية للمحافظة على الحياة إلى 70. 0 عندما تكون التغذية بمعدل ثلاثة أضعاف المحافظة على الحياة. إن التناقص بهذا الحجم قد يكون نتيجة زيادة التأثيرات المشتركة للأغذية، وهناك ما يشير إلى إمكانية تجنب ذلك عن طريق رفع معدل البروتين في الغذاء. إن التناقص الأكبر في معامل الهضم بسبب زيادة مستوى التغذية كان باستعمال الأعلاف الخشنة المطحونة أو المحببة وكذلك في بعض النواتج الليفية الثانوية (0.05 وحدة/ وحدة إضافية في المستوى).

إن رفع مستوى التغذية إلى 2 – 3 مرات عن مستوي المحافظة على الحياة بالنسبة للحيوانات غير المجترة مثل الدواجن، وإلى 3 – 4 مرات بالنسبة للخنازير أو إلى 4 – 6 مرات في إناث الخنازير الحلوب، يبقي لمستوي التغذية تأثيرات طفيفة على معامل الهضم للأغذية التقليدية (ذوات الألياف المنخفضة).

مقاييس بديلة للقيمة الهضمية للأغذية

Alternative Measures of the digestibility of foods

لقد رأينا إلى الآن بأنه يمكن التعبير عن معامل الهضم بطرق مختلفة، وعليه يجب التمييز بين معامل الهضم للمادة الجافة أو المادة العضوية للغذاء (أو للمكونات المفردة للمادة العضوية)، وكذلك يجب أن تميز بين معامل الهضم الظاهرية والحقيقية، وبين معامل الهضم في القناة الهضمية بأكملها أو جزء من القناة (مثل معامل الهضم في اللفائفي). بالإضافة إلى ذلك فان معامل الهضم يمكن أن تحدد مباشرة في الحيوانات (معامل الهضم على الحيوان *In Vivo*)، أو غير مباشرة، إما في المختبر (*In Vitro*) أو باستخدام أكياس لدائنية أو بلاستيكية Polyester (*In Sacco*). بالإضافة إلى هذه القياسات توجد بعض المصطلحات المشتركة والتي تم استنتاجها من بيانات معامل الهضم، والتي يقصد بها توفير مقياس قيمة الطاقة للغذاء. احد تلك المقاييس هو محتوى مجموع العناصر الغذائية المهضومة في الغذاء، (Total digestible Nutrients TDN ويحسب على أساس الوزن الكلي للبروتين المهضوم والكربوهيدرات المهضومة (الألياف الخام و المستخلص الخالي من النيتروجين)، مضافاً إليها 2.25 مضروباً في وزن مستخلص الايثر المهضوم وذلك في 100 كجم من

الغذاء. ويتم ضرب قيمة مستخلص الايثر في 2.25 لان قيمة الطاقة في الدهون تعادل 2.25 مرة تقريباً مما هو في الكربوهيدرات.

عند حساب البروتين المهضوم بالاضافة للكربوهيدرات فيما يتعلق بالدريس في جدول "1.10" على انه المادة العضوية المهضومة مطروحاً منها مستخلص الايثر المهضوم (أي 515 - 8 = 507)، فان محتواه من مجموع العناصر الغذائية المهضومة (TDN) يحسب على انه 507 + 2.25 × 8 = 525 جم/كجم، أو 52.5 كجم/ 100 كجم. استخدم مقياس TDN كان في وقت ما بصورة مكثفة في الولايات المتحدة الأمريكية USA، ولكن الآن لا يستعمل عملياً. وهناك مقياس أخر مشتق من محتوى الغذاء من الطاقة وهو تركيز المادة العضوية المهضومة في المادة الجافة (DOMD)، وهذا يكون 515 جم/كجم أو 51.5% بالنسبة للدريس في جدول 1.10 ، ويطلق على القيمة المئوية أحياناً قيمة " D " للغذاء. إن القيم المكافئة من الطاقة لكل من DOMD، TDN تفسر في الفصول التالية.

تيسر العناصر المعدنية Availability of mineral elements

يوجد في معظم المعادن فقد داخلي مع الروث وبصفة خاصة عناصر الكالسيوم، الفوسفور، الماغنيسيوم والحديد. وقد ينشأ هذا الفقد من إفرازات تدخل القناة الهضمية حيث لا يتم فيها إعادة امتصاص المعادن، وقد يكون ذلك كبيراً بعض الشيء؛ ومثال ذلك، كمية الفوسفور المفرزة إلى القناة الهضمية عن طريق اللعاب تكون عادةً في المجترات أكثر من الكمية الموجودة في الغذاء. وقد يحمل الروث معادن تم امتصاصها بكميات زائدة ولهذا

يجب أن تطرح خارج الجسم (أي أن القناة هي مسار للإخراج الحقيقي والإخراج الداخلي على حد سواء). ولهذه الأسباب فان لمعاملات الهضم لتلك العناصر أهمية بسيطة. ولهذا فان المقياس ذا الأهمية هو القيمة الهضمية الحقيقية، وهي تعرف للمعادن بالتيسر"availability". لقياس تيسر المعدن فانه يجب التمييز بصفة عامة بين ذلك الجزء الموجود في الروث وهو مادة غير ممتصة، وذلك الجزء الذي يمثل مواد دخلت إلى القناة من الأنسجة. وقد يتم التمييز بواسطة ترقيم Labeling عنصر داخل الجسم ومن ثم يكون الجزء المفرز إلى القناة الهضمية، نظيرة ذو النشاط الإشعاعي.

وتوجد العناصر المعدنية في نواتج الهضم digesta في أشكال ثلاثة، فهي إما ايونات معدنية في محلول، أو ضمن مكونات تركيبات عضوية معدنية في محلول، أو مكونات لمواد غير ذائبة، وتلك الموجودة في الشكل الأول تكون قابلة للامتصاص أما الموجودة في الشكل الثالث فهي غير ذائبة على الإطلاق، أما مكونات التركيبات العضوية المعدنية يكون البعض منها مرتبطاً Chelates، قد تصبح قابلة للامتصاص في بعض الحالات. هناك فرص لبعض المعادن في التحول من احد الأشكال إلى الأخر، ولهذا فانه يمكن القول بان مدى تيسر عنصر ما يعتمد على الشكل الذي يوجد به ذلك العنصر في الغذاء وعلى مدى الظروف الملائمة لتحويله من شكل إلى أخر في القناة الهضمية. عليه فان كلاً من الصوديوم والبوتاسيوم والتي توجد في digesta غالباً كأيونات يكون تيسرها مقارباً إلى 1.0، وفي الطرف الأخر يوجد النحاس في معظمة كمركبات ذائبة أو غير قابلة للذوبان ويكون تيسره عامة اقل من 0.1 ولأخذ مثال أخر فان الفوسفور يوجد في عدة أغذية كمكون لحمض الفايتيك

Phytic acid ويعتمد تيسره على وجود إنزيمات الفايتيز Phytases وهي من أصل ميكروبي أو حيواني في القناة الهضمية.

إن العامل الفعال الذي يتحكم في التحولات الداخلية للأشكال القابلة للذوبان وغير الذائبة للعناصر المعدنية هو درجة تركيز ايونات الهيدروجين " pH " لمحتويات الهضم digesta. بالإضافة إلى ذلك توجد عوامل خاصة تقوم بربط العناصر المعدنية وبهذا تحول دون امتصاصها ومثال ذلك، قد يترسب الكالسيوم بواسطة الاوكزالات ويرسب النحاس بواسطة الكبريتيدات Sulphides. ويكون مدى تيسر المعادن عامة مرتفعاً في الحيوانات النامية التي غذّيت على لبن أو نواتج اللبن، ولكن ذلك يتناقص كلما تغير الغذاء إلى الأنواع الصلبة. وهناك بعض التعقيدات الأخرى وهي أن الامتصاص، وما يترتب عنه من التيسر الظاهري، لبعض المعادن يتحدد جزئياً بواسطة حاجة الحيوان إليها. إن امتصاص الحديد كما تمت الإشارة إليه في الفصل 8 هو أوضح مثال لهذا التأثير، ولكن في المجترات يبدو أن امتصاص الكالسيوم محدد بواسطة حاجة الحيوان.

في حين لم تجر محاولة هنا أو في الفصل الثامن لتوفير قائمة بالعوامل التي تؤثر في تيسر المعادن، فان تلك التي تمت الإشارة إليها تؤدي إلى توضيح عدم إجراء أية محاولة في جداول مكونات الغذاء لإعطاء قيم تدل على تيسر المعادن مقارنة بمعامل الهضم الشائع استخدامه للعناصر العضوية. وحيث أن تيسر المعادن في غذاء ما يعتمد بصورة أكبر على مكونات الغذاء وعلى الحيوان الذي أعطى له، فان القيم المتوسطة للأغذية المفردة أصبحت قليلة الأهمية.

مراجع الفصل العاشر

1. Nutrition Society 1977 Methods for evaluating feeds for large farm animals. *Proceedings of the Nutrition Society*, **36**: 169-225.
2. Schneider B H and Flatt W P 1975 *The evaluation of feeds through Digestibility Experiments*. Athens, GA, University of Georgia Press.
3. Van Soest P J 1982 *Nutritional Ecology of the Ruminants*. Cornvallis, Oregon, O and B Books.
4. Wheeler J L and Mochrie R D (eds) 1981. *Forage Evaluation: Concepts and Techniques*, Melbourne, CSIRO and Lexington, Kentucky, American Forage and Grassland Council.

الفصل الحادي عشر

تقييم الأغذية

(ب) محتوى الأغذية من الطاقة وتجزئة طاقة الغذاء داخل الحيوان

(ب) محتوى الأغذية من الطاقة وتجزئة طاقة الغذاء داخل الحيوان

(B) Energy content of foods and the partition of food energy within the animal

إن العناصر الغذائية العضوية الرئيسية المطلوبة من قبل الحيوان كمواد لبناء أنسجة الجسم وتصنيع تلك المنتجات كاللبن والبيض، ويحتاجها أيضاً كمصادر لطاقة الجهد الذي يقوم به. إن الميزة الموحدة لهذه الوظائف المتنوعة هي أن جميعها تشتمل على نقل للطاقة، وهذا ينطبق على كل من تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية أو طاقة حرارية، كما هو الحال عند تأكسد العناصر الغذائية، وعندما تتحول الطاقة الكيميائية من إحدى الصور إلى الأخرى، ومثال ذلك عندما يخلق دهن الجسم من الكربوهيدرات. إن لمقدرة الغذاء على توفير الطاقة أهمية كبيرة في تحديد قيمته الغذائية. إن الهدف من هذا الفصل والذي يليه هو شرح مصير طاقة الغذاء في جسم الحيوان وقياس طاقة الأيض والتعبير عن قيمة الطاقة للأغذية.

Demand for energy الطلب على الطاقة

يستمر الحيوان المحروم من الغذاء في طلبه من الطاقة وذلك لوظائف الجسم العاجلة والضرورية للحياة – للجهد الميكانيكي للنشاط العضلي، للجهد الكيميائي مثل تحرك المواد الذائبة نحو التركيز الأعلى "concentration gradients" ، ولتصنيع مكونات الجسم المستهلكة مثل الأنزيمات والهرمونات. وإذا تعرض الحيوان للتجويع فإن الطاقة المطلوبة لهذه الأغراض يتم الحصول عليها بواسطة هدم مخزونات الجسم، من الجلايكوجين أولاً، ثم من

الدهن والبروتين. ويكون الاحتياج الأساسي لطاقة الغذاء في الحيوان المغذّى لمواجهة الاحتياج للمحافظة على الجسم وبهذا يحول دون هدم أنسجة الحيوان. عندما تُستغل الطاقة الكيميائية في الغذاء للجهد العضلي أو الكيميائي المستخدم في المحافظة على الحياة، فإن الحيوان لا يبذل أي جهد في محيطه و تتحول الطاقة المستخدمة إلى حرارة. ويمكن اعتبار هذه الطاقة مستهلكة، نظرا لأن الطاقة الحرارية تكون نافعة للمحافظة على درجة حرارة الجسم فقط. وعندما لا يأكل الحيوان تكون كمية الحرارة المنتجة مساوية للطاقة في الأنسجة التي تعرضت للهدم، وعند قياسها تحت ظروف خاصة فهي تعرف بالأيض الأساسي للحيوان (The animal's basal metabolism). وسوف يتضح في الفصل 14 كيف تستخدم تقديرات الأيض الأساسي في تقييم احتياجات الحيوانات للطاقة لغرض المحافظة على الحياة. و تستخدم الطاقة التي يوفرها الغذاء وتكون زائدة على احتياجات المحافظة على الحياة في صور مختلفة من الإنتاج (وبدقة أكثر، فإن العناصر الممثلة لهذه الطاقة تستخدم هكذا). إن الحيوان الصغير النامي سيخزن الطاقة بصورة أساسية في البروتين الموجود في أنسجته الجديدة، بينما الحيوان الناضج فإنه يخزن معظم الطاقة في الدهن والحيوان المنتج للبن فإنه سيحول طاقة الغذاء إلى طاقة تحتويها مكونات اللبن. القيام بالجهد العضلي وتكوين الصوف والبيض هي من الصور الأخرى للإنتاج.

ولا توجد وظيفة يمكن القول بأن لها الأولوية في طاقة الغذاء، حتى وإن كانت للمحافظة على الجسم. إن الحيوان النامي الذي يتحصل على ما يكفيه من البروتين ولديه نقص في الطاقة للمحافظة على الحياة يظل يخزن البروتين بينما يقوم بسحب مخزونه من الدهن، وبالمثل فقد يحدث بعض النمو في الصوف في حيوانات تتناول طاقة تحت مستوى المحافظة على الحياة حتى وإن لم تأكل.

الإمداد بالطاقة Supply of energy

الطاقة الكلية في الأغذية Gross energy of foods

يتحصل الحيوان على الطاقة من الغذاء، وتقاس كمية الطاقة الكيميائية الموجودة في غذاء ما بواسطة تحويلها إلى طاقة حرارية وقياس الحرارة الناتجة. ويتم هذا التحول عن طريق أكسدة الغذاء عن طريق حرقه وتعرف الحرارة الناتجة من التأكسد الكامل لوحدة الوزن من الغذاء بالطاقة الكلية (Gross energy) أو حرارة الاحتراق (Heat of combustion) لذلك الغذاء.

وتقاس الطاقة الكلية في جهاز يعرف بكبسولة الطاقة Bomb calorimeter وهو في صورته المبسطة يتكون من غرفة معدنية قوية (Bomb) مستقرة في حجيرة ماء ذات عازل. توضع عينة الغذاء في الغرفة، ويدفع الأوكسجين تحت الضغط، تؤخذ درجة حرارة الماء ثم تحرق العينة كهربائياً. تمتص الحرارة الناتجة من الأكسدة بواسطة الغرفة والماء المحيط بها، وعند الوصول إلى التعادل تؤخذ درجة حرارة الماء مرة أخرى. وتحسب كمية الحرارة الناتجة من ارتفاع درجة الحرارة ومن أوزان ودرجة الحرارة النوعية للماء والغرفة. ويمكن استخدام كبسولة الطاقة Bomb calorimeter في تحديد محتوى الطاقة الكلية لكل الأغذية أو مكوناتها، ولأنسجة الحيوان ونواتج الإخراج و يوضح الشكل رقم 1.11 بعض القيم النموذجية للطاقة الكلية. إن المحدد الأساسي لمحتويات الطاقة الكلية لأي مادة عضوية هو درجة أكسدتها، كما يعبر عنه بالنسبة بين الكربون و الهيدروجين إلى الأوكسجين (ك + يد : أ). جميع

الكربوهيدرات لها نسب متشابهه ولهذا فإن لها نفس المحتوى من الطاقة الكلية (حوالي 17.5 ميجا جول/كجم مادة جافة).

ومن ناحية أخرى، فإن دهون الجلسريدات الثلاثية، بها أوكسجين اقل نسبياً وعليه فإن قيمة الطاقة الكلية بها تكون أكثر مما في الكربوهيدرات (حوالي 39 ميجا جول/كجم مادة جافة). وتختلف الأنواع المفردة في سلسلة الأحماض الدهنية في محتواها من الطاقة الكلية تبعاً لطول سلسلة الكربون، ولهذا فإن محتوى الأنواع الدنيا في السلسلة (الأحماض الدهنية الطيارة) من الطاقة أقل. إنّ محتوى الطاقة الكلية في البروتينات اعلي من الكربوهيدرات لأنها تحتوى عنصراً إضافياً قابلاً للتأكسد، النيتروجين، (و أيضاً الكبريت). كما أنّ الميثان به قيمة عالية جدا من الطاقة لأنه يحتوي على كربون وهيدروجين فقط .

بالرغم من هذه الفروق بين مكونات الغذاء، إلا أن سيادة الكربوهيدرات تعني أن هناك تبايناً قليلاً في محتوى الطاقة في أغذية حيوانات المزرعة. إنّ الأغذية الغنية بالدهن، هي فقط التي بها قيم عالية، مثل كسب زيت بذرة الكتان (90 جم مستخلص إيثر/كجم)، وتلك الغنية بالرماد، والتي ليس لها قيمة سعرية. وتحتوى معظم الأغذية الشائعة حوالي 18.5 ميجا جول/كجم مادة جافة. إن الطاقة الكلية في الغذاء ليست كلها متاحة ومستغلة من قبل الحيوان، ولكن بعضها يفقد في صورة فضلات صلبة، سائلة أو غازية؛ وجزءاً آخر يفقد كحرارة.

مكونات الغذاء

مكونات الغذاء
جلوكوز 15.6
نشا 17.7
سيليولوز 17.5
كازين 24.5
زبدة 38.5
دهن(من بذور زيتية) 39

نواتج التخمر

نواتج التخمر	
حمض خليك 14.6	أحماض دهنية طيارة
حمض بروبيونيك 20.8	أحماض دهنية طيارة
حمض الزبد 24.9	أحماض دهنية طيارة
حمض اللاكتيك 15.2	أحماض دهنية طيارة
ميثان 55.0	

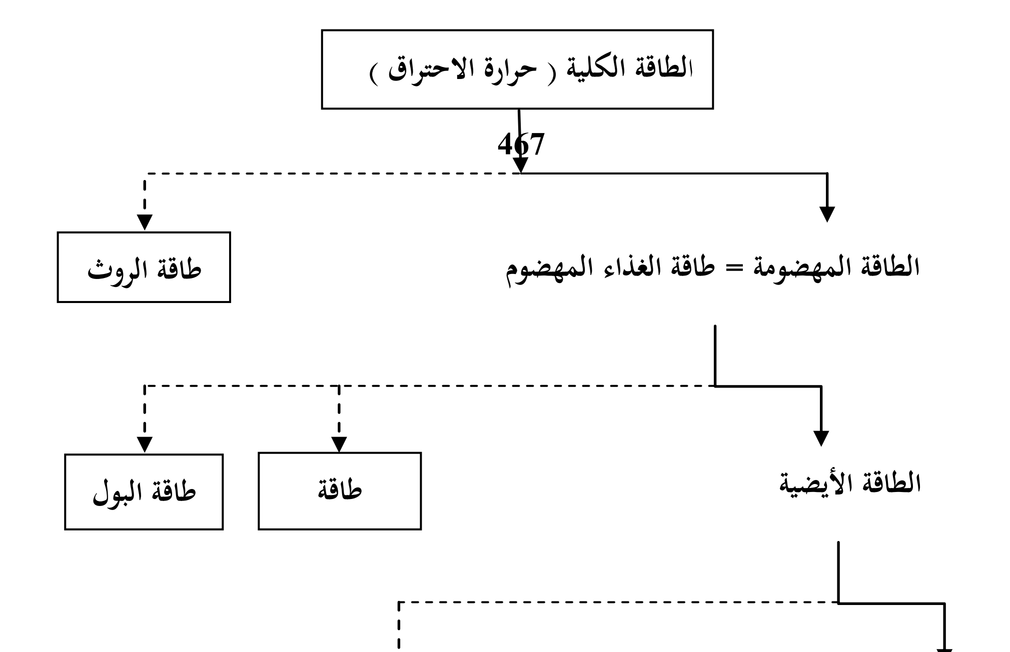
أنسجة حيوان (خالية من الرماد)

أنسجة حيوان (خالية من الرماد)
عضلات 23.6
دهن 39.3

أغذية

أغذية
حبوب ذرة صفراء 18.5
حبوب شوفان 19.6
تبن شوفان 18.5
بقايا زيت بذرة الكتان 21.4
دريس أعشاب 18 .9
لبن (40 جم دهن/كجم) 24.9

شكل 1.11 بعض القيم النموذجية من الطاقة الكلية (ميجا جول/كجم مادة جافة)



الطاقة الصافية

شكل 2.11 تجزئة طاقة الغذاء داخل جسم الحيوان الفقد في الطاقة موضحة في عناوين داخل صناديق على اليسار.

ومصادر فقد هذه الطاقة موضح في شكل 2.11. ويشير طرحها من محتوى الطاقة الكلية للغذاء إلى وصف أنواع إضافية أخرى من طاقة الغذاء، ومثال ذلك فالطاقة الكلية مطروحاً منها محتوى الروث من الطاقة يعطي وصفاً آخر يعرف بالطاقة الهضمية للغذاء (ولكن بدقة أكثر فإنها تشير إلى محتوى الطاقة للعناصر الغذائية المهضومة) وسيتم وصف هذا مع التقسيمات الأخرى.

الطاقة المهضومة Digestible energy

الطاقة المهضومة ظاهرياً لغذاء ما، هي محتوى الطاقة الكلية في وحدة الوزن من ذلك الغذاء مطروحاً منها محتوى الطاقة الكلية في الروث الناتج من استهلاك وحدة وزن من الغذاء. في المثال الخاص بتجربة تحديد القيمة الهضمية المعطاة في جدول 1.10، فإن الأغنام استهلكت 1.63 كجم من المادة الجافة للدريس و بها محتوى من الطاقة الكلية حوالي 18.0 ميجا جول/كجم، لهذا فإن مجموع الطاقة الكلية المأكولة كان 29.3 ميجا جول/يوم. احتوت كمية 0.76 كجم من المادة الجافة في الروث على 18.7 ميجا جول / كجم أو ما مجموعه 14.2 ميجا جول/يوم. لذلك فإن معامل الهضم الظاهري للطاقة في الدريس هي:

$$\mathbf{0.515 = \frac{14.2-29.3}{29.3}}$$

ومحتوى الطاقة المهضومة في المادة الجافة للدريس كانت

18.0 × 0.515 = 9.3 ميجا جول/كجم.

الطاقة الأيضية Metabolizable energy

يتحمل الحيوان مفقودات إضافية للمواد التي تحتوى على طاقة وتخرج في بوله وفي الغازات القابلة للاحتراق والتي تغادر القناة الهضمية خصوصاً في المجترات. الطاقة الأيضية في غذاء ما هي الطاقة المهضومة مطروحاً منها الطاقة المفقودة في البول والغازات القابلة للاحتراق. الطاقة في البول موجودة في مواد تحتوي نيتروجين مثل اليوريا، حمض هيبيوريك hippuric acid، الكرياتينين والالانتاوين Allantoin وأيضاً في مركبات غير نيتروجينية كالجلوكورينيت glucuronates وحمض السيتريك. وتتكون الغازات القابلة للاحتراق والمفقودة من الكرش في معظمها من الميثان حيث يرتبط إنتاج غاز الميثان إلى حد بعيد بتناول الغذاء، وعند التغذية بمستوى الحفظ فإن حوالي7 – 9 % من الطاقة الكلية (حوالي 11 – 13 % من الطاقة المهضومة) يفقد على هيئة ميثان. وينخفض إنتاج الميثان إلى حوالي 6 – 7% من الطاقة الكلية وذلك عند المستويات الأعلى في التغذية، ويلاحظ التناقص بوضوح في الأغذية الأكثر قابلية للهضم. ويكون إنتاج الميثان منخفضاً (3 % من الطاقة الكلية) مع الأغذية المتخمرة مسبقاً مثل الحبوب المستعملة في تحضير البيرة "brewers grains".

ويتم تحديد قيمة الطاقة الأيضية في الغذاء في تجارب تغذية مشابهة لتجارب تحديد القيمة الهضمية، ولكن يجمع فيها البول والميثان بالإضافة إلى الروث. وتستخدم أقفاص الأيض للأغنام والخنازير ويلحق بها جهاز لتجميع البول، أما في الأبقار يجمّع البول باستخدام أنبوب مطاط يتصل بأسفل البطن في الذكور أو في أعلى المهبل Valvu بالنسبة

للإناث حيث ينتقل عبر الأنبوب بقوة الجاذبية أو بالشفط إلى وعاء التجميع. وهناك طريقة بديلة لتجميع البول من الإناث وهي شائعة الاستخدام للخنازير وذلك بإدخال قسطر قابل للامتلاء بالهواء إلى فتحة المهبل. وعند قياس إنتاج الميثان يوضع الحيوان في غرفة محكمة عن الهواء تعرف بغرفة التنفس، حيث يوصف عمل مثل تلك الغرفة بتفصيل أكثر لاحقا. وبالإمكان تقدير إنتاج الميثان بحوالي 8 % من الطاقة الكلية المأكولة عندما لا تتوفر غرفة التنفس، وبالإضافة إلى ذلك فإنه بالإمكان حساب قيم الطاقة الأيضية في أغذية المجترات من حاصل ضرب قيم الطاقة المهضومة × 0.8 ، و يدل هذا على أن متوسط الطاقة المخرجة في البول أو كميثان حوالي 20 % من الطاقة المهضومة ظاهرياً. تقاس الطاقة الأيضية في الدواجن بسهولة أكثر من قياس الطاقة المهضومة لأن الروث والبول يطرحان خارج الجسم مع بعضهما. ولقد تم تطوير طريقة قياسية وسريعة لتحديد قيمة الطاقة الأيضية في أغذية الدواجن حيث تمنع الديكة الصغيرة "الذكور الصغيرة" عن الأكل (أو التغذية على كمية صغير فقط من الجلوكوز) حتى يتم تفريغ القناة الهضمية ثم تجبر على أكل وجبة مفردة من الغذاء المراد اختياره. ويتم بعد ذلك تجميع الفضلات حتى خروج كل بقايا تلك الوجبة وفي نفس الوقت يتم تجميع الكميات الصغيرة من الفضلات التي خرجت من الطيور الصائمة (أو المغذاة على جلوكوز) كقياس للفواقد الداخلية Endogenous losses. ويمكن الحصول على قيمة حقيقية وليست ظاهرية للطاقة المهضومة وذلك بطرح الطاقة في الفواقد الداخلية من الطاقة في الفضلات للطيور المغذاة وهي ما تعرف بالطاقة الأيضية الحقيقية (True Metabolizable Energy) ولا تقارن مباشرة بمقاييس الطاقة الأيضية المتحصل عليها بطرق أخرى.

العوامل المؤثرة في قيم الطاقة الأيضية في الأغذية

Factors affecting the metabolizable energy values of foods

يوضح الجدول 1.11 قيم الطاقة الأيضية لعدد من الأغذية. ومن الواضح أن فقد الطاقة في الروث يعتبر من أكثر المصادر أهمية، وحتى في الأغذية ذات القيمة الهضمية العالية مثل الشعير فإن مقدار ضعف الطاقة يفقد في الروث والبول والميثان، ولهذا فإن العوامل الرئيسية المؤثرة في قيمة الطاقة المهضومة للغذاء هي تلك العوامل المؤثرة في قيمته الهضمية وهذه نوقشت سابقاً وهنا سوف يكون التركيز على الفقد في البول والميثان.

تتباين قيمة الطاقة الأيضية في الغذاء تبعاً لنوع الحيوان الذي أعطيت إليه، وخصوصاً، نوع الهضم الذي تعرض إليه. إن الهضم التخمري في الكرش أو فيما بعدها على طول القناة، يسبب فقداً في الطاقة على هيئة ميثان. وهناك تأثير اقل لتدخل الكائنات الحية الدقيقة في الهضم هو زيادة فقد الطاقة إما في البول (على هيئة نواتج هدم الأحماض النووية للبكتيريا المهضومة والممتصة) أو في الروث (على هيئة كائنات حية دقيقة نامية في المعي الخلفي " hindgut " ولم تهضم).

وبصفة عامة فإن فقد الطاقة في الميثان وفي البول يكون أكثر في المجترات منه في غير المجترات، ولهذا فإن أغذية مثل المركزات، وهي مهضومة بنفس المدى في المجترات وغير المجترات، سوف يكون بها قيمة أعلى للطاقة المهضومة بالنسبة لغير المجترات (انظر قيم الشعير في جدول 1.11).

جدول 1.11 قيم الطاقة الأيضية لبعض الأغذية النموذجية.

(القيم غير المصححة–انظر النص– معبّر عنها ميجا جول/كجم مادة جافة من الغذاء)

الحيوان	الغذاء	الطاقة الكلية	طاقة مفقودة في:			
			الروث	البول	الميثان	الطاقة الأيضية
الطيور	ذرة صفراء	**18.4**	**2.2**	-	-	**16.2**
	قمح	**18.1**	**2.8**	-	-	**15.3**
	شعير	**18.2**	**4.9**	-	-	**13.3**
الخنازير	ذرة صفراء	**18.9**	**1.6**	**0.4**	-	**16.9**
	شوفان	**19.4**	**5.5**	**0.6**	-	**13.3**
	شعير	**17.5**	**2.8**	**0.5**	-	**14.2**
	كسب جوز هند	**19.0**	**6.4**	**2.6**	-	**10.0**
الأغنام	شعير	**18.5**	**3.0**	**0.6**	**2.0**	**12.9**
	زيوان مجفف (نامي)	**19.5**	**3.4**	**1.5**	**1.6**	**13.0**
	زيوان مجفف (ناضج)	**19.0**	**7.1**	**0.6**	**1.4**	**9.9**
	دريس أعشاب (نامية)	**18.0**	**5.4**	**0.9**	**1.5**	**10.2**
	دريس أعشاب(ناضجة)	**17.9**	**7.6**	**0.5**	**1.4**	**8.4**
	سيلاج أعشاب	**19.0**	**5.0**	**0.9**	**1.5**	**11.6**
الأبقار	ذرة صفراء	**18.9**	**2.8**	**0.8**	**1.3**	**14.0**
	شعير	**18.3**	**4.1**	**0.8**	**1.1**	**12.3**
	نخالة القمح	**19.0**	**6.0**	**1.0**	**1.4**	**10.6**
	دريس برسيم حجازي	**18.3**	**8.2**	**1.0**	**1.3**	**7.8**

ومن ناحية ثانية، فإن الأغذية الليفية التي تقدم لغير المجترات ستسبب أيضاً فقداً نتيجة الهضم التخمري في المعي الخلفي "hindgut". في أغذية المجترات مثل السيلاج والذي تعرض للتخمر قبل استهلاكه من قبل الحيوان فإنه يسبب فقداً بسيطاً في الهضم، ولكنه قد تسبب في فقد وهو في السايلو silo. وعليه يمكن القول بأن السيلاج يحتوي على طاقة

قابلة للتخمر و الأيض أقل من الأغذية المقارنة له مثل الدريس، ومن ناحية ثانية، فإن هذا الاختلاف يكون ذا أهمية في تغذية البروتين للمجترات (انظر الفصل 8 و 13) أكثر من تغذية الطاقة. والملاحظة الأخيرة فيما يتعلق بتأثير نوع الحيوان أن تلك الفروق بين الأبقار والأغنام في فقد الطاقة في البول والميثان تكون صغيرة وغير معنوية. وتتباين كذلك قيمة الطاقة الأيضية للغذاء تبعاً لما إذا كانت الأحماض الأمينية التي وفرها ذلك الغذاء ستحتجز بواسطة الحيوان لتخليق البروتين، أو تم نزع ما بها من مجموعة أمينية وخرج ما بها من نيتروجين في البول كيوريا. ولهذا السبب، يتم في بعض الأحيان تصحيح قيم الطاقة الأيضية إلى ميزان نيتروجين مساويا صفرto zero nitrogen balance وذلك بطرح 28 كيلو جول (للخنازير)، 31 كيلو جول (للمجترات) أو 34 كيلو جول (للدواجن) و يكون هذا مقابل كل 1 جرام من النيتروجين المحتجز. إن العامل الأكثر ملاءمة لكل نوع من الحيوانات يعتمد على المدى الذي يخرج به النيتروجين على هيئة يوريا (طاقة كلية 23 كيلو جول/جم نيتروجين) وكمركبات أخرى (مثل حمض اليوريك 28 كيلو جول/ جم نيتروجين). لو أن حيواناً اخرج نيتروجيناً في بوله أكثر مما امتصه من غذائه (أي انه في ميزان سالب انظر الفصل 13)، بعض من نيتروجين البول غير مشتق من الغذاء، وفي هذه الحالة يجب أن تخضع قيمة الطاقة الأيضية إلى تصحيح موجب. وفي بعض الحالات فإن النمط الذي يتم به تحضير الغذاء قد يؤثر في قيمة الطاقة الأيضية. ويؤدي طحن الأعلاف الخشنة أو تشكيلها على هيئة حبيبات إلى زيادة فقد الطاقة في الروث بالنسبة للمجترات، ولكن هذا قد يتوازن جزئياً بانخفاض إنتاج غاز الميثان، أما في الدواجن فإن طحن الحبوب ليس له تأثير

مستمر وثابت على قيم الطاقة الأيضية. كما تمت مناقشته سابقاً (الفصل 10)، فإن زيادة مستوى التغذية للمجترات قد يسبب انخفاضاً كبيراً في القيم الهضمية لأغذيتها وبالتالي في قيمة الطاقة الأيضية بها. الزيادات في فقد الطاقة في الروث قد يتوازن جزئياً مع انخفاض في فقد في طاقة الميثان والبول. بالرغم من ذلك ففي حالة الأعلاف الخشنة المطحونة بشدة وتلك المخلوطة مع أغذية مركزة، تنخفض فيها قيم الطاقة الأيضية بزيادة مستوى التغذية. من ناحية نظرية فإنه من الممكن الحد من إنتاج الميثان في الكرش وبذلك تجنب فقدان 8 % من الطاقة الكلية المأكولة في هذه الصورة. بالإمكان عملياً إيقاف إنتاج الميثان بواسطة إضافة عقاقير مضادة للميكروبات في الغذاء (الكلوروفورم هو احد الكيماويات الفعالة)، ولكن المضاعفات لا تكون دائماً إيجابية. وقد توجّه إلى ناتج غازي عرضي آخر، وهو الهيدروجين (انظر شكل 3.8)؛ بالإضافة إلى ذلك، فإن الكائنات الحية الدقيقة في الكرش قد تتكيف على وجود العقار وتعود إلى تصنيع الميثان. وهناك بعض الأدلة على أن الكائنات الحية الدقيقة المصنعة للميثان استطاعت التكيف على مضاد الكوكسيديا، monensin، وهو عقار مثبط للميثان استعمل على نطاق واسع لتحفيز النمو في أغذية أبقار اللحم.

الجرم الحراري (الحرارة الزائدة في الأغذية) Heat increment of foods

عندما يتناول الحيوان الغذاء ويهضمه فإن ذلك سيعقبه فقد في الطاقة ليس في صورة طاقة كيميائية في الفضلات الصلبة، السائلة والغازية فحسب ولكن كحرارة أيضاً.

تكون الحيوانات باستمرار في حالة إنتاج حرارة وفقدها إلى محيطها، إما مباشرة بواسطة الإشعاع، التوصيل أو الحمل أو بطريقة غير مباشرة بواسطة تبخر الماء. عند تقديم الغذاء إلى الحيوان الصائم، فإن إنتاج الحرارة لديه سيزداد فوق المعدل الذي يمثل الأيض الأساسي وذلك في زمن لا يتعدى ساعات قليلة. و تعرف هذه الزيادة بالجرم الحراري "Heat increment"؛ وهذا واضح تماماً في الإنسان بعد وجبة غذاء كبيرة. قد يعبر عن الحرارة الزائدة في الغذاء بمصطلحات مطلقة (ميجا جول/ كجم مادة جافة من الغذاء)، أو نسبياً كجزء أو نسبة من الطاقة الكلية أو الطاقة الأيضية. وهذه الطاقة الحرارية ليست ذات قيمة للحيوان ما لم يكن في بيئة باردة على وجه الخصوص ويجب اعتبارها كضريبة على الطاقة في الغذاء مثلها مثل الطاقة في الفضلات.

إن أسباب الحرارة الزائدة في الغذاء "H.I" هي في عمليات هضم الأغذية وأيض العناصر الغذائية المشتقّة منها وإن القيام بعملية الأكل والتي تشمل المضغ، البلع وإفراز اللعاب يتطلب نشاطاً عضلياً حيث تتوفر له الطاقة بواسطة أكسدة العناصر الغذائية؛ ويقدر إنفاق الطاقة المنفقة على مضغ الأغذية الليفية في المجترات بين 3 – 6 % من الطاقة الأيضية المأكولة. وقد ينتج في المجترات أيضاً مقدار من الحرارة خلال أيض الكائنات الحية الدقيقة في القناة الهضمية وهذا يقدر بكمية تعادل حوالي 7 – 8 % من الطاقة الأيضية المأكولة (أو بدلاً من ذلك بقدر 0.6 كيلو جول / كجم من الميثان المنتج). ولعلّ حرارة أكثر يتم إنتاجها عند أيض العناصر الغذائية، مثلاً، كما تم توضيحه في الفصل 9 بأنه لو تم أكسدة الجلوكوز في تكوين مركبات فوسفات غنية بالطاقة (ATP)، تكون كفاءة الطاقة المتحررة

والمجترة هي حوالي 0.69، بينما 0.31 مفقودة في صورة حرارة. ويكون عدم الكفاءة واضحا بصورة مشابهة في تصنيع مكونات الجسم. مثال ذلك أن ربط حمض أميني بحمض آخر يتطلب استهلاك أربعة من الروابط البايروفوسفات "عالية الطاقة"، وإذا تم الحصول على ATP التي توفر ذلك خلال أكسدة الجلوكوز، فإن حوالي 2.5 ميجا جول من الطاقة سيتحرر في صورة حرارة مقابل تكوين كل كيلوجرام من البروتين. ويجب ملاحظة، أن تصنيع البروتين لا يحدث في الحيوانات النامية فحسب، ولكن يحدث أيضاً في تلك الحيوانات التي وضعت في مستوى المحافظة على الحياة حيث يكون تصنيع البروتين جزءاً من عملية تحولات البروتين. ويقدر أيض البروتين بأنه يساوي حوالي 10 % من إنتاج الحرارة في الحيوان. ويقوم الحيوان كذلك باستهلاك روابط الفوسفات عالية الطاقة للقيام بالجهد المستخدم في حركة المواد (مثل أيونات الصوديوم وأيونات البوتاسيوم) ضد قوى التركيز Concentration gradients. وهذا المعروف "بمضخة الأيون" قد يسهم بحوالي 10 % من الحرارة المنتجة من الحيوان. وتكون الحرارة المنتجة في جسم الحيوان في تلك المناطق التي تتميز بنشاط أيضي كبير، لهذا فقد تم تقييم ذلك في المجترات والتي لها قناة هضمية كبيرة وينشط فيها الأيض بأن ما يعادل نصف الحرارة المنتجة ينشأ من القناة الهضمية والكبد. وسوف نلاحظ فيما بعد بأن الحرارة الزائدة في الغذاء (HI) تتباين كثيراً تبعاً لطبيعة الغذاء ونوع الحيوان المستهلك وكيفية استخدام العناصر الغذائية.

الطاقة الصافية والطاقة المحتجزة في الجسم

Net energy and energy retention

عند استقطاع الحرارة الزائدة في الغذاء من الطاقة الأيضية به ينتج عن ذلك قيمة الطاقة الصافية في الغذاء وهي تلك الطاقة المتاحة للحيوان للأغراض المفيدة (أي للمحافظة على الحياة ولمختلف صور الإنتاج (شكل2.11). و تُستغل الطاقة الصافية المستخدمة للمحافظة على الحياة أساساً لأداء الجهد داخل جسم الحيوان وتخرج منه في شكل حرارة. إن تلك الطاقة المستخدمة في النمو أو التسمين ولإنتاج اللبن، البيض أو الصوف وهي إما أن تخزن في الجسم أو تطرح خارجه كطاقة كيميائية، ويشار للكمية المستخدمة بهذه الصورة بالطاقة المخزنة للحيوان.

ومن المهم أن تعرف بأن الفقد الحقيقي للطاقة في الحيوان، هو فقط ذلك الجزء المعروف بالطاقة الزائدة في الغذاء "HI"، ويمكن اعتباره ضريبة مباشرة على طاقة الغذاء. وتعتبر الحرارة الناتجة من الطاقة والمستخدمة للمحافظة على الجسم بأنها تمثل الطاقة التي استعملت بواسطة الحيوان وانهدمت degraded إلى صورة غير ذات فائدة للحيوان خلال عملية الاستخدام.

طرق قياس إنتاج الحرارة واحتجاز الطاقة

Animal Calorimetry: methods for measuring heat production and energy retention

لدراسة المدى الذي تستغل فيه الطاقة الأيضية بواسطة الحيوان فإنه من الضروري قياس إما إنتاج الحرارة من الحيوان أو قياس الطاقة المحتجزة به. إن ذلك سيكون واضحاً عند فحص شكل (2.11)، حيث أن معرفة إحدى هذه الكميات تمكننا من تحديد الأخرى عن

طريق خصم الكمية المعروفة من الطاقة الأيضية. ويمكن قياس إنتاج الحرارة مباشرة بطرق فيزيائية وذلك يتطلب "Animal Calorimeter" وتعرف العملية بالطريقة المباشرة لقياس الطاقة Direct Calorimetry. البديل عن ذلك يمكن تقدير إنتاج الحرارة من التبادل التنفسي في الحيوان، وعادة يستخدم لذلك غرفة التنفس وهذا أحد اتجاهات الطرق غير المباشرة لقياس الطاقة "Indirect Calorimetry". ويمكن أيضاً استخدام الغرف التنفسية في تقدير الطاقة المحتجزة بدلاً من إنتاج الحرارة وذلك بطريقة تعرف بتجربة ميزان الكربون والنيتروجين.

قياس الطاقة باستخدام المسعر الحراري (الطريقة المباشرة) Direct Calorimetry

إن الحيوانات لا تقوم بتخزين الحرارة، إلا لفترات قصيرة نسبياً وعند إجراء القياسات لفترات تصل إلى 24 ساعة أو أطول فإن ذلك يؤكد ضمان أن كمية الحرارة المفقودة من الحيوان تعادل الكمية المنتجة. وتفقد الحرارة من الجسم وبدرجة أولى بواسطة الإشعاع والتوصيل والحمل من سطح الجسم وبواسطة تبخير الماء من الجلد والرئتين. المسعر الحراري المستخدم للحيوان Animal Calorimeter عبارة عن غرفة مُحكمة من الهواء ومعزولة حيث يقاس فقد الحرارة عن طريق البخر بواسطة تسجيل حجم الهواء الداخل لتلك الغرفة ومحتواه من الرطوبة عند دخوله فيها وخروجه منها. وفي أغلب الأنواع القديمة من هذه الأجهزة فإن الفقد المحسوس للحرارة (أي ذلك الفقد بواسطة الإشعاع، التوصيل والحمل) يؤخذ من الماء المدور خلال أنابيب داخل الغرفة، وبذلك يمكن حساب كمية الحرارة المزالة من الغرفة من معدل انسياب الماء والفرق بين درجات حرارته أثناء دخوله وأثناء خروجه. وتقاس كمية

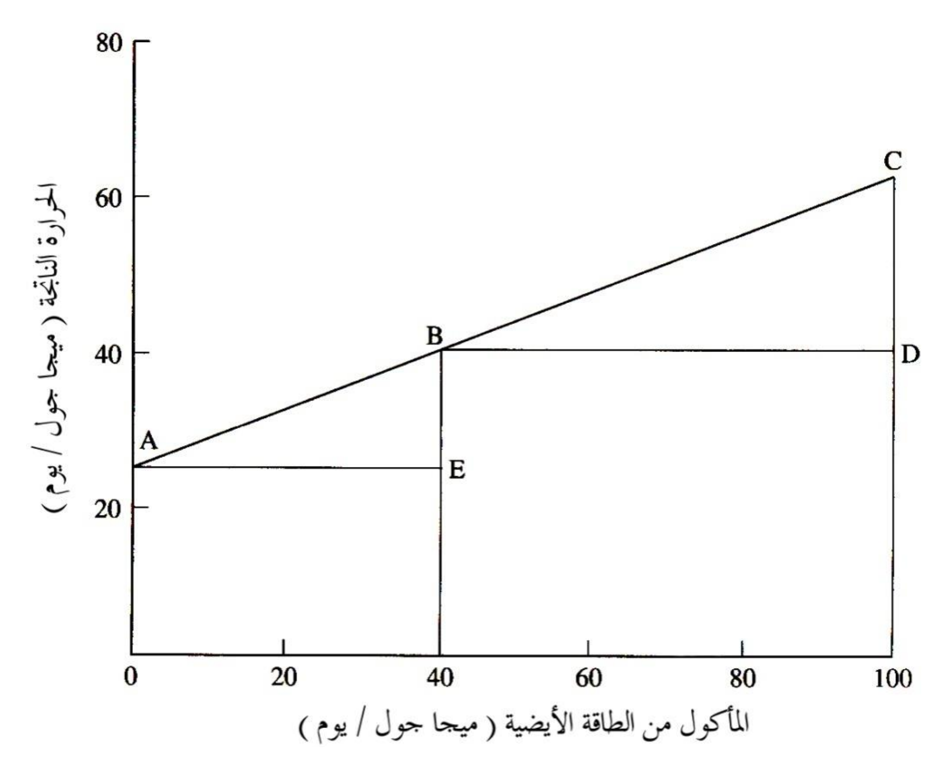
الحرارة، كهربائياً في معظم الأنواع الحديثة من الأجهزة، the gradient layer calorimeter أثناء عبورها جوار جدار الغرفة، و يدار هذا النوع من الأجهزة آليا، ويستطيع قياس كل من الفقد المحسوس والفقد عن طريق البخر بشكل إلى automatically. وتتضمن معظم أجهزة قياس الطاقة calorimeters معدات لقياس التبادل التنفسي respiratory exchange ولهذا يمكن استخدامها للطرق غير المباشرة أيضاً "Indirect Calorimetry".

إن الحرارة الزائدة في الغذاء (HI) والمراد التحقق منها يتم تحديدها بالفرق في إنتاج الحرارة عند مستويين مما يأكله الحيوان كما هو موضح بالشكل 3.11. يتطلب وجود مستويين لأن جزءاً من إنتاج الحرارة يُسهم به الأيض الأساسي للحيوان. إن زيادة تناول الغذاء تسبب رفع الإنتاج الكلي للحرارة على افتراض أن الأيض الأساسي يبقى كما هو، ولهذا فإن زيادة إنتاج الحرارة يمكن أن تعزى إلى الحرارة الزائدة (HI) للغذاء الزائد. ففي المثال الموضح في شكل 3.11 كان الغذاء المعطى عند مستويات توفر 40 و 100 ميجا جول من الطاقة الأيضية. وكانت الزيادة في الطاقة وهي 60 ميجا جول (BD) في الشكل مرتبطة بزيادة في إنتاج الحرارة (CD) 24 ميجا جول. وكانت الحرارة الزائدة في الغذاء HI كجزء BD\CD أو 24\60 = 0.4، وبالإمكان أيضاً استخدام أدنى مستوى من الغذاء المأكول (صفر) ولتقدير الحرارة الزائدة (HI) بالفرق في إنتاج الحرارة بين الأيض الأساسي (حالة الصيام) وتلك المنتجة عند تناول الحيوان للغذاء. وتعطي هذه الطريقة في المثال الموضح بالشكل 3.11 نتيجة الحرارة الزائدة HI كالآتي: 16\40 = 0.4.

عند التحقق من غذاء مفرد، فقد يعطي كمادة وحيدة عند كل المستويات. ولو أن الغذاء ليس بالإمكان إعطاؤه بمفرده، في الظروف الاعتيادية فإن المعدل الأدنى يمكن تحقيقه

بإعطاء عليقة أساسية والمستوى الأعلى بإعطاء نفس العليقة السابقة مع بعض من الغذاء المراد فحصه. مثال ذلك، الحرارة الزائدة من الشعير المأكول من قبل الأغنام بالإمكان قياسها بواسطة تغذية الأغنام على عليقة أساسية من الدريس ومن ثم تعطي كمية مكافئة من نفس الدريس مع بعض الشعير.

الطريقة المباشرة لقياس الطاقة Animal Calorimeters طريقة مكلفة فيما يتعلق بتشييدها والأنواع القديمة منها تحتاج عمالة أكثر لتشغيلها، لهذا السبب فإن معظم قياسات الطاقة حالياً تجرى بواسطة الطريقة غير المباشرة الموضحة أدناه.



شكل 3.11 : طريقة الفرق لتقدير الحرارة الزائدة في الغذاء.

A هي الأيض الأساسي و B , C تمثلان إنتاج الحرارة عندما كانت الطاقة الأيضية المأكولة هي 40 و100 ميجا جول على التوالي. بقصد التبسيط فإن العلاقة بين إنتاج الحرارة والطاقة الأيضية المأكولة وضحت هنا كعلاقة خطية أي أن ABC كخط مستقيم ومع ذلك هذه ليست دائماً الحالة كما سيتم تفسيره في فصل لاحق.

الطريقة غير المباشرة بواسطة قياس التبادل التنفسي

Indirect Calorimetry by the measurement of respiratory exchange

المواد التي تتأكسد في الجسم، وبالتالي يتحول ما بها من طاقة إلى حرارة تقع أساساً في ثلاثة أصناف من العناصر الغذائية من كربوهيدرات، دهون وبروتينات. إن التفاعل العام لأكسدة كربوهيدرات مثل الجلوكوز هو:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 2.82\ MJ \quad ...... \quad [1]$$

و لأكسدة دهن نموذجي وليكن ثلاثي بالميتين (Tripalmitin) فهي:

$$C_3H_5(OOC.C_{15}H_{31})_3 + 72.5O_2 \rightarrow 51CO_2 + 49H_2O + 32.02\ MJ \ ...... \ [2]$$

يشغل الجزيء الجرامي الواحد من الجلوكوز 22.4 لتراً وذلك عند "NTP". لهذا ففي الحيوان المتحصل على كل طاقته بواسطة أكسدة الجلوكوز، فإن استخدامه لتر واحد من الأوكسجين سيؤدي إلى إنتاج 2820 \(6 × 22.4) = 20.98 كيلو جول من الحرارة؛ وعند وجود مخاليط من الكربوهيدرات يكون متوسط القيمة هو 21.12 كيلو جول/لتر. وتعرف تلك القيم بالمكافئات الحرارية للأوكسجين، وتستعمل في الطريقة غير

المباشرة (Indirect Calorimetry) لتقدير إنتاج الحرارة من استهلاك الأوكسجين. عندما يقوم الحيوان بهدم مخاليط من الدهون فقط، يكون المكافئ الحراري للأوكسجين هو 19.61 كيلو جول / لتر (مقارنة بـ 19.73 كيلو جول/ لتر) تم حسابه لدهن مفرد من المعادلة [2] المشار إليها أعلاه.

وعادة لا تتحصل الحيوانات على الطاقة إما من الكربوهيدرات أو الدهون بشكل حصري ولكنها تؤكسد مخلوطاً من هذه المواد (ومن البروتين أيضاً) ولهذا فإن تطبيق المكافئ الحراري المناسب لتحويل استهلاك الأوكسجين إلى إنتاج حرارة يتطلب معرفة مقدار الأوكسجين المستخدم لكل عنصر غذائي. وتحسب النسب مما يعرف بالنسبة التنفسية (Respiratory Quotient) وهي النسبة بين حجم ثاني أكسيد الكربون المنتج بواسطة الحيوان وحجم الأوكسجين المستخدم. وبما أنه عندما تكون ظروف درجات الحرارة والضغط متشابهة فإن الأحجام المتساوية من الغازات تحتوي أعداداً متساوية من الجزيئات فإن النسبة التنفسية (RQ) يمكن حسابها من جزيئات ثاني أكسيد الكربون المنتجة و الأوكسجين المستخدم. من المعادلة [1] تحسب (RQ) للكربوهيدرات كما يلي:

$$\mathbf{6\ CO_2/6O_2 = 1}$$

ومن المعادلة [2] تكون ذات النسبة للدهون (Tripalmitin) كما يلي:

$$\mathbf{0.70\ = 72.5\ O_2 / 51CO_2}$$

ويمكن تحديد نسب الكربوهيدرات والدهون المتأكسدة من الجداول القياسية وذلك بمعرفة النسبة التنفسية (RQ) للحيوان. وكمثال على ذلك فإن النسبة التنفسية 0.9 تشير إلى أكسدة مخلوط يتكون من67.5 % كربوهيدرات و 32.5 % دهون، وان المكافئ الحراري للأوكسجين لذلك المخلوط = 20.60 كيلو جول/لتر.

وبصفة عامة يشتمل المخلوط المؤكسد على بروتين ويمكن تقييم كمية البروتين المهدوم من مخرجات النيتروجين في البول، حيث يفرز 0.16 جرام من النيتروجين لكل جرام من البروتين.

إن حرارة احتراق البروتين (أي الحرارة الناتجة عند تأكسده بالكامل) تتباين بحسب نسب الأحماض الأمينية به ولكنها بمتوسط 22.2 كيلو جول/جم. ومن ناحية ثانية، فإن البروتين لا يتأكسد بالكامل داخل الحيوان لأن الجسم لا يستطيع أكسدة النيتروجين، وأن متوسط الحرارة الناتجة من هدم 1 جرام من البروتين هي 18.0 كيلو جول. ولكل جرام من البروتين المتأكسد، فإن كمية ثاني أكسيد الكربون المنتجة هي 0.77 لتر ويتم استخدام 0.96 لتر من الأوكسجين، وهذا يعطي نسبة تنفسية RQ = 0.8 .

إن إنتاج الحرارة في الجسم ليست من أكسدة العناصر العضوية فقط ولكنه أيضاً عند استخدامها في تخليق مواد الأنسجة. ومن ناحية ثانية، فقد وجد أن كميات الحرارة الناتجة أثناء عمليات التخليق هذه لها نفس العلاقة مع التبادل التنفسي كما هو الحال عند الأكسدة الكاملة للعناصر الغذائية. وقد تضطرب العلاقة بين التبادل التنفسي و إنتاج الحرارة إذا كانت أكسدة الكربوهيدرات والدهون غير كاملة، وتنشأ هذه الحالة عند

الاضطراب الأيضي المعروف بالكيتوزية "Ketosis"، وذلك عندما لا تتأكسد الأحماض الدهنية بالكامل إلى ثاني أكسيد الكربون والماء، وإنما يطرح الكربون والهيدروجين خارج الجسم في شكل كيتونات أو مواد شبيهة بالكيتون. إن التأكسد غير الكامل يحدث أيضاً تحت الظروف الطبيعية في المجترات، لأن الناتج النهائي لتخمر الكربوهيدرات في الكرش هو ميثان. يحسب إنتاج الطاقة عملياً، من التبادل التنفسي في المجترات ويصحح لهذا التأثير بواسطة خصم 2.42 كيلو جول لكل لتر من الميثان، ويمكن تجميع الحسابات المشار إليها أعلاه في معادلة فردية تعرف بمعادلة براور " Brouwer equation " نسبة إلى العالم الألماني (E. Brouwer).

$$HP = 16.18\ V_{O2} + 5.16\ V_{CO2} - 5.90\ N - 2.42\ CH_4 \quad .... \quad [3]$$

حيث HP = إنتاج الحرارة (كيلو جول).

V_{O2} = استهلاك الأوكسجين (لتر).

V_{CO2} = إنتاج ثاني أكسيد الكربون (لتر).

N = النيتروجين الخارج في البول (جم).

CH_4 = إنتاج الميثان (لتر).

وبالنسبة للدواجن يكون معامل النيتروجين 1.2 (بدلاً من 5.90) لأنها تطرح النيتروجين في شكل أكثر تأكسداً وهو حمض البوريك Uric acid بدلاً من اليوريا (البولينا).

في بعض الحالات، والتي تناقش بتفصيل أكثر فيما بعد، حيث إنتاج الحرارة يقدر من استهلاك الأوكسجين فقط. بافتراض أن النسبة التنفسية RQ كانت 0.82 والمكافئ الحراري كان 20.0، فالانحرافات عن هذه النسبة في نطاق0.7 — 1.0 تسبب أقصى انحراف ولا يتعدى 3.5 % في تقييم إنتاج الحرارة. وهناك تسهيلات إضافية ممكنة فيما يتعلق بأيض البروتين. المكافئ الحراري للأوكسجين والمستخدم لأكسدة البروتين هو 18.8 كيلو جول/لتر، وهي لا تختلف عن القيمة 20.0 المفترضة لأكسدة الكربوهيدرات والدهون. إذا تسببت أكسدة البروتين في إنتاج نسبة بسيطة من الحرارة، فإنه من غير الضروري تقييمها على حده، وعليه لا يتطلب حساب النيتروجين المخرج. والمثال على حساب إنتاج الحرارة من النسبة التنفسية موضح بالجدول 2.11 وعند تطبيق معادلة Brouwer (معادلة 3 السابقة)، على بيانات النسبة التنفسية الواردة في جدول 2.11، فإن إنتاج الحرارة يمكن أن يقدر بحوالي 7858 كيلو جول.

جدول 2.11 حساب إنتاج الحرارة في عجل من قيم التبادل التنفسي له وإخراج النيتروجين في البول.

After Blaxter K.L , Graham N McC and Rook J.A.F 1955 J. *Agric. Sci., Camb.*, 45, 10

نتائج من التجربة (لكل 24 ساعة)	
الأوكسجين المستهلك	392.0 لتر
ثاني أكسيد الكربون الناتج	310.7 لتر
النيتروجين المخرج في البول	14.8 جم
الحرارة من أيض البروتين	
البرويتن المتأكسد (6.25 × 14.8)	92.5 جم
الحرارة الناتجة (18.0 × 92.5)	1665 كيلو جول

الأوكسجين المستخدم (**0.96×92.5**)	**88.8** لتر
ثاني أكسيد الكربون الناتج (**0.77× 92.5**)	**71.2** لتر
حرارة ناتجة من أيض الكربوهيدرات والدهون	
الأوكسجين المستخدم (**392.0 – 88.8**)	**303.2** لتر
ثاني أكسيد الكربون الناتج (**310.771 – 2.**)	**239.5** لتر
النسبة التنفسية لغير البروتين	**0.79**
المكافئ الحراري للأوكسجين عند **QR** = **0.79**	**20.0** كيلو جول/لتر
الحرارة الناتجة (**20.0 ×303.2**)	**6064** كيلو جول
مجموع الحرارة الناتجة (**1665 + 6064**)	**7729** كيلو جول

معدات قياس التبادل التنفسي

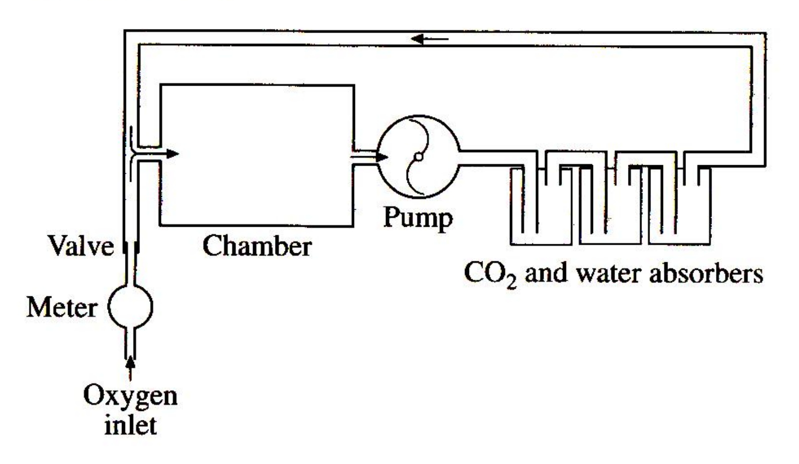
Apparatus for measuring respiratory exchange

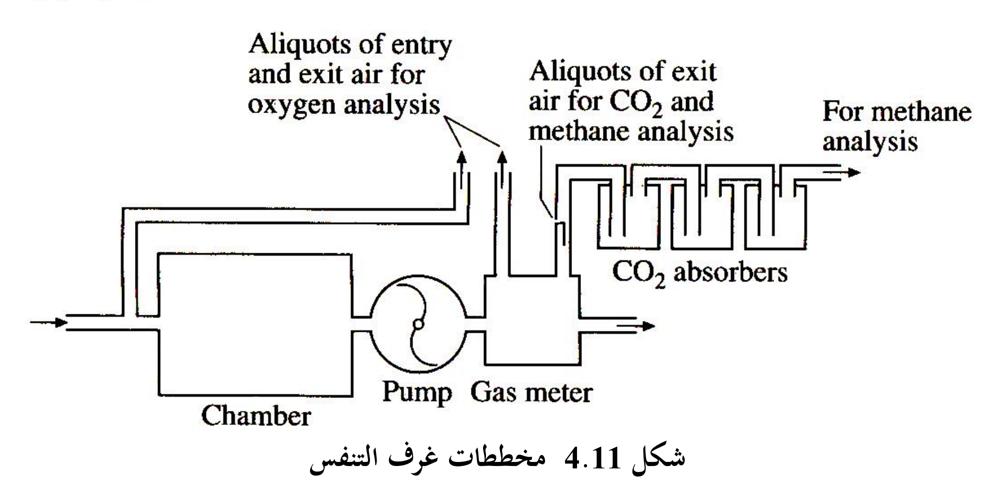
المعدات الأكثر شيوعاً والمستخدمة للحيوانات الزراعية هي غرفة التنفس Respiratory chamber. الدائرة المغلقة هو النوع الأبسط للغرفة (شكل11. 4 (a))، ويتكون من حيز محكم الإغلاق يحوي الحيوان بالإضافة إلى الأوعية التي تحمل ممصات ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء. وتحتوي الغرفة أيضاً على معدات التغذية، والشرب وحتى آلة حلب الحيوان. ويكون الأوكسجين المستخدم من قبل الحيوان بواسطة مصدر مزود بجهاز قياس. و يمكن في نهاية فترة التجربة (24 ساعة) قياس ثاني أكسيد الكربون المنتج بواسطة وزن الكمية الممتصة وكذلك أية ميثان منتج بأخذ وتحليل عينات الهواء في الغرفة. العائق الرئيسي لغرفة الدائرة المغلقة هو الكميات الكبيرة من الممصات المطلوبة؛ لهذا فإن البقرة مثلاً تحتاج إلى 100 كجم من كلس الصودا يومياً لامتصاص ثاني أكسيد الكربون وتحتاج إلى 250 كجم من السيليكا جل لامتصاص بخار الماء. البديل هو غرفة من نوع الدائرة المفتوحة

(شكل 4.11 (b)) يسحب الهواء خلال الغرفة بمعدل محسوب حيث تؤخذ العينات وتحلل عند الدخول والخروج، وبالتالي يمكن تقدير إنتاج كل من ثاني أكسيد الكربون والميثان واستهلاك الأوكسجين. وبما أن الفروق في مكونات الهواء الداخل والخارج يجب أن تكون صغيرة وذلك لكي تكون ظروف وضع الحيوان طبيعية، فإن ذلك يتطلب قياسات دقيقة جداً لتدفق الغاز ومكوناته. تلائم المعدات الحديثة المعتمدة على جهاز تحليل الأشعة فوق الحمراء هذا المعيار وقد استبدلت غرفة الدائرة المفتوحة محل غرفة الدائرة المغلقة في الآونة الأخيرة وبشكل كبير. ومن الممكن في بعض الغرف أن تتناوب طريقة التشغيل بين التيار الغلق والمفتوح. وكذا العمل بالتيار المغلق لفترة ولتكن مدة 30 دقيقة بدون امتصاص للغاز، وهذا ما يسبب تغيرات واضحة في مكونات الغاز في هواء الغرفة. وبعد ذلك بفترة قصيرة (ولتكن 3 دقائق) تعمل فيها دائرة مفتوحة تسمح بضخ هواء الغرفة إلى الخارج خلال عداد التدفق وجهاز أخذ العينات.

و يمكن قياس التبادل التنفسي بدون غرفة للحيوان وذلك بعد أن يزود الحيوان بقناع الوجه "face mask"، وهذا ما يتصل بدائرة مغلقة أو مفتوحة لتحديد الأوكسجين المستهلك على حده أو كل من الأوكسجين المستهلك وإنتاج ثاني أكسيد الكربون. تكون هذه الطريقة ملائمة لأخذ قياسات لفترات قصيرة وليس بالإمكان استخدامها لتقييم إنتاج الحرارة في حالة الأكل. عندما تكون قياسات أيض الطاقة طويلة الأمد في الحيوانات غير المقيدة (في المرعى مثلا)، يمكن تقدير إنتاج الحرارة بدقة كافية وذلك من إنتاج ثاني أكسيد الكربون فقط. ويقاس الأخير بواسطة نفخ سوائل الجسم بمصدر لثاني الكربون المشع (بيكربونات

الصوديوم– ك[14]) وتؤخذ عينات من سوائل الجسم لتحديد درجة تخفيف ثاني أكسيد الكربون المشع بذلك المنتج من الحيوان. وقد تم التغير الحديث والجوهري في دراسات مسار الطاقة في الحيوان من دراسة كل الحيوان لقياس تبادل الطاقة في أعضاء أو أنسجة خاصة. إن أساس طريقة عمل تلك القياسات هو إدخال قسطرة في الأوعية الدموية التي تزود أو تفرغ عضو ما، حيث يحدد تدفق الدم ومكوناته لكي يسمح بتقدير الأوكسجين المأخوذ أو إنتاج ثاني أكسيد الكربون ويمكن أيضاً وفي نفس الوقت قياس أخذ المواد الناشئة عن الأيض مثل الجلوكوز.





شكل 4.11 مخططات غرف التنفس

قياس الطاقة المحتجزة بواسطة تقنية ميزان الكربون والنيتروجين

Measurement of energy retention by the carbon and nitrogen balance technique

يقدر إنتاج الحرارة في قياس الطاقة عن طريق هواء التنفس "respiration calorimetry"، وتحسب الطاقة المحتجزة بالفرق بين الطاقة الأيضية المأكولة وإنتاج الحرارة (كما هو في الجدول2.11). الطريقة البديلة وهي تقدير الطاقة المحتجزة مباشرة وحساب إنتاج الحرارة بواسطة الفرق. الأشكال الرئيسية التي تخزن بها الطاقة بواسطة الحيوانات النامية والمسمنة هي البروتين والدهن وفيما يخص مخزون الكربوهيدرات في الجسم فهو قليل وثابت نسبياً. ويمكن تقدير الكميات المخزونة من البروتين والدهن بواسطة إجراء تجربة ميزان النيتروجين، وذلك عن طريق قياس كميات هذه العناصر الداخلة إلى والخارجة من الجسم ومنها تتحدد الكميات المحتجزة بواسطة الفرق. ويمكن بعد ذلك حساب الطاقة المحتجزة بضرب كميات العناصر الغذائية في قيمها السعرية calorific values. ويدخل كل من الكربون والنيتروجين إلى الجسم بواسطة الغذاء فقط ويخرج النيتروجين من الجسم في الروث والبول فقط. ومن ناحية أخرى، فإن الكربون يخرج من الجسم في شكل ثاني أكسيد الكربون والميثان أيضاً، وبالتالي يجب أن تجري تجربة التوازن في غرفة تنفس. إن طريقة حساب الطاقة المحتجزة من بيانات ميزان الكربون والنيتروجين يتضح جيداً إذا أخذنا بعين الاعتبار حيواناً قام بتخزين كل من الدهن والبروتين. ففي مثل ذلك الحيوان يكون ما يتناوله من كربون ونيتروجين اكبر من الكميات المخرجة، ويمكن القول بأن الحيوان في اتزان موجب فيما يتعلق بهذه العناصر. وتحسب كمية البروتين المخزن بواسطة ضرب ميزان النيتروجين في 1000\ 160 (=6.25) بافتراض أن بروتين الجسم يحتوي 160 جم نيتروجين/كجم، ويحتوي كذلك على 512 جم كربون/كجم، لذلك يمكن حساب كمية الكربون المخزنة في

شكل بروتين. الكربون المتبقي مخزن في صورة دهن، وهو يحتوي على 746 جم كربون/كجم. وبناءً عليه يحسب الدهن المخزن من ميزان الكربون مطروحاً منه الكربون المخزن كبروتين، ويقسم الناتج على 0.746 وتحسب الطاقة الموجودة في البروتين والدهن المخزن بعد ذلك بواسطة متوسط القيم السعرية لنسيج الجسم. وتتباين هذه القيم من نوع لآخر؛ بالنسبة للأبقار والأغنام يوصي الآن بحوالي 39.3 ميجا جول/كجم للدهن وحوالي 23.6 ميجا جول/كجم للبروتين. المثال عن هذه الطريقة لحساب الطاقة المحتجزة (وإنتاج الحرارة) موضح في جدول 3.11.

إن مميزات تقنية ميزان الكربون والنيتروجين هي عدم الحاجة إلى قياس استهلاك الأوكسجين (أو النسبة التنفسية RQ)، وان الطاقة المحتجزة تقسم إلى مخزنة في شكل بروتين وأخرى مخزنة في شكل دهن.

طرق أخرى لقياس الطاقة المحتجزة

Other methods for measuring energy retention

نظراً لأن تجارب قياس القيمة السعرية تتطلب أجهزة معقدة ولا يمكن تنفيذها إلا على أعداد قليلة من الحيوانات، فقد كانت هناك – ولا تزال – العديد من المحاولات لقياس الطاقة المحتجزة بطرق أخرى. ففي أي تجربة تغذية يمكن قياس ما تتناوله الحيوانات من طاقة مهضومة أو أيضية وبصورة مرضية، ولكن ما تحتجزه من طاقة يمكن فقط تقديره من تغيرات الوزن الحي. ومن ناحية أخرى، فإن تغيرات الوزن الحي لا توفر تقديرات صحيحة للطاقة المحتجزة، لأنها أولاً لا تمثل أكثر من التغيرات في محتويات القناة الهضمية أو المثانة، وثانياً لأن الزيادة في محتوى الطاقة للأنسجة الحقيقية قد يتباين على نطاق واسع تبعاً لنسبة العظم،

العضلات والدهن بها (انظر الفصل 14). يتم التغلب على هذه الاعتراضات جزيئاً فقط في التجارب التي تكون فيها الطاقة المحتجزة في صورة لبن أو بيض، حيث يقاس ما بها من طاقة بدرجة أسهل، فالمحتجز في هذه المنتجات غالباً غير متغير مع ما يصاحبه من محتجز في أنسجة أخرى (مثال ذلك الأبقار الحلوب عادة بها زيادة أو نقص في الوزن الحي وفي محتوي الطاقة). ومع ذلك، فإن الطاقة المحتجزة يمكن قياسها في تجارب التغذية عندما تقدر محتويات الطاقة في الحيوان عند بداية التجربة وفي نهايتها. وفي طريقة الذبح المقارن يتم ذلك بتقسيم الحيوانات إلى مجموعتين وواحدة مذبوحة (مجموعة عينة الذبيحة) في بداية التجربة. ويتم تحديد محتوى الطاقة في الحيوانات المذبوحة بواسطة كبسولة الطاقة bomb calorietry) (، حيث تؤخذ العينات المستخدمة إما من الحيوان ككل، من قطع صغيرة جداً (مفروم) أو من أنسجة الجسم بعد عزلها بواسطة تشريحها (dissecation). ويمكن الحصول بعد ذلك على علاقة بين الوزن الحي للحيوانات ومحتواها من الطاقة و يستخدم هذا للتنبؤ بالمحتوى الابتدائي من الطاقة في حيوانات المجموعة الثانية.

تذبح المجموعة التالية عند نهاية التجربة وتعامل بنفس النمط الذي تم لمجموعة عينة الذبيحة، ومن ثم يمكن حساب الطاقة المكتسبة لها.

جدول11 . 3 حساب الطاقة المحتجزة وإنتاج الحرارة في الأغنام من ميزان الكربون والنيتروجين .

(After Blaxter K L and Graham N McC 1955 *J. Agric. Sci, Camb.*,46, 292)

نتائج من تجربة (24 ساعة)	ك (جم)	ن (جم)	الطاقة(ميجا جول)
المأكول	684.5	41.67	28.41
المخرجة في الروث	279.3	13.96	11.47

المخرجة في البول	33.6	25.41	1.50
المخرجة كميثان	20.3	–	1.49
مخرجة كثاني أكسيد الكربون	278.0	–	–
الميزان	73.3	2.30	
الطاقة الأيضية المأكولة	–	–	13.95
مخزون البروتين والدهن			
بروتين مخزن	2.30 × 6 .25		14.4 جم
كربون مخزن في صورة بروتين	(14.4 × 0.512)		7.4 جم
كربون مخزن في صورة دهن	(7.4 – 73.3)		65.9 جم
دهن مخزن	(0.746 ÷ 65.9)		88.3 جم
الطاقة المحتجزة وإنتاج الحرارة			
طاقة مخزنة في صورة بروتين	(23.6 × 14.4)		0.34 ميجا جول
طاقة مخزنة في صورة دهن	(88.3 × 39.3)		3.47 ميجا جول
مجموع الطاقة المحتجزة	(0.34 + 3.47)		3.81 ميجا جول
إنتاج الحرارة	(3.81 – 13.95)		10.14 ميجا جول

مثال عن استخدام تقنية الذبح المقارن موضح في جدول 4.11 ذبحت مجموعة من الديكة إما قبل أو بعد فترة أربعة أيام في غرف التنفس، تم حساب الطاقة التي اكتسبتها من الفرق بين المحتوى الابتدائي والنهائي للطاقة في الجسم ويطرح مما تناوله الطائر من مقدار معروف من الطاقة الأيضية و يعطي هذا تقييماً لإنتاج الحرارة. وقدّر أيضاً إنتاج الحرارة بواسطة غرف التنفس respiration calorimetry وقد اتفقت الطريقتان إلى 2 %. وقد تستمر معظم تجارب الذبح المقارن لمدة أطول، ولذلك تعطي زيادة في اتزان الطاقة، اكبر مما هو موضح في جدول 4.11 أن تجارب الذبح المقارن غالباً تعطي قيماً للطاقة المحتجزة اقل من نتائج التجارب التي تجري على الحيوانات باستخدام المسعر الحراري calorimeters،

وهذا قد لا يعني شيئاً فربما بسبب انه في الحالة الأولى تكون هناك فرصة أكثر للحيوانات لإنفاق الطاقة في النشاط العضلي.

جدول 4.11 استخدام تقنية الذبح المقارن لتقدير الطاقة المحتجزة وإنتاج الطاقة في الدواجن
(After Fuller H L, Dale N M and Smith C F 1983 *J.Nutr.* , 113, 1403)

مواصفات الطيور	الابتدائي	النهائي	الفرق
الوزن الحي (جم)	2755	2823	68
الطاقة الكلية (كيلو جول)	27491	28170	679
المأكول من الطاقة الأيضية (كيلو جول)		2255	
إنتاج الطاقة كيلو جول (2255–679)		1576	
إنتاج الطاقة بواسطة مسعرية التنفس (كيلو جول)		1548	

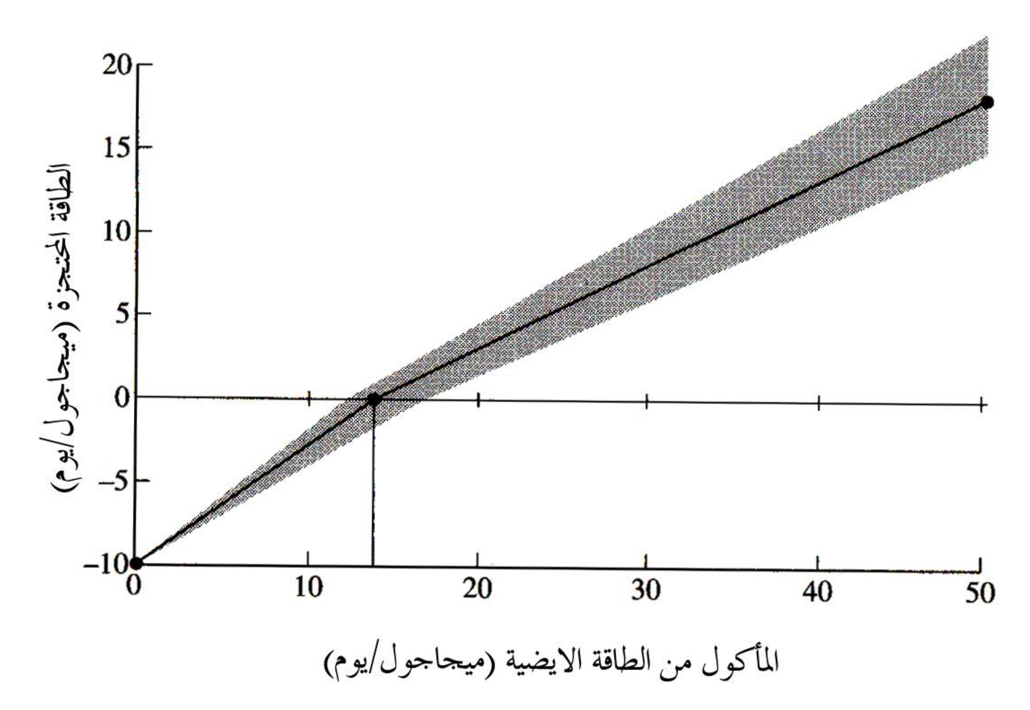
إن تجارب الذبح المقارن لا تحتاج إلى أجهزة معقدة، ولكن يتضح أنها مكلفة ومجهدة عندما تطبق على الأنواع الكبيرة من الحيوانات. و قد تصبح الطريقة اقل تكلفة عندما تكون قياسات مكونات الجسم، أو عدم التمكن من استخدام الذبيحة الكاملة أو غير المشرّحة Undissected carcass. طورت العديد من الطرق الكيميائية لتقدير مكونات الجسم على الحيوان نفسه *in vivo*، والأساس المطبق في معظم هذه الطرق بأن كمية اللحم في أجسام الحيوانات (أي وزن الجسم المفرغ ناقصاً وزن الدهن) ذات مكونات ثابتة من عدة نواحي. مثلاً، 1 كيلو جرام من لحم الأبقار يحتوي على 729 جم ماء، 216 جم بروتين و 53 جم رماد. ويعني هذا أنه إذا أمكن قياس وزن الماء في الحيوان الحي، ففي هذه الحالة يمكن تقدير وزن البروتين ووزن الرماد؛ بالإضافة إلى ذلك، إذا علم الوزن الكلي، يمكن

تقدير وزن الدهن عن طريق طرح وزن اللحم في الجسم. ومن ناحية عملية يقدر مجمل الماء في الجسم عملياً بواسطة ما يعرف بتقنيات التخفيف " dilution techniques "، وذلك بحقن الحيوان بكمية معلومة من مادة معلمة {دليل}، وتترك إلى أن تتوازن مع ماء الجسم ومن ثم يحدد تركيز التعادل. والمواد ذات العلامة (الدلائل) شائعة الاستعمال هي الماء الذي يحتوي على نظير الهيدروجين المشع، والترينيوم (tritium)، أو نظائره الثقيلة ديوتيريوم (deuterium). والعائق الوحيد في هذه التقنيات أن المواد المعلمة لا تختلط بماء الجسم الحقيقي فقط، ولكنها تختلط أيضاً بالماء الموجود في القناة الهضمية (في المجترات ما يعادل 30 % من مجمل ماء الجسم قد يكون في محتويات القناة الهضمية).

طريقة كيميائية ثانية لتقدير مكونات الجسم على الحيوان *in vivo* بناءاً على التركيز الثابت للبوتاسيوم في وزن اللحم في الجسم. غالباً تحدد مكونات الذبيحة بدون تشريح أو تحليل كيميائي وذلك من كثافتها النوعية. للدهن كثافة نوعية أقل وبشكل واضح من العظم والعضلات، فالذبيحة الأسمن لها كثافة نوعية أقل. وتتحدد الكثافة النوعية للذبيحة بوزنها في الهواء وفي الماء، غير أن هذه الطريقة لها صعوبات تقنية (أي أن الهواء قد يحبس تحت الماء) وهذا يجعلها غير دقيقة. وبرغم ذلك، فإن تقديرات استغلال الطاقة فيتحصل عليها بواسطة الذبح المقارن وقياسات الكثافة النوعية استخدمت في الولايات المتحدة لتأسيس نظام كامل لتغذية الأبقار (انظر الفصل 12).

استغلال الطاقة الأيضية Utilization of metabolizable energy, ME

العلاقة العامة بين ما يتناوله الحيوان من طاقة أيضية وما يحتجزه من طاقة موضح في شكل 5.11 عندما تكون M E المأكولة تساوي صفر (الحيوان في حالة صوم) تكون الطاقة المحتجزة سالبة؛ وفي هذه الحالة يستعمل الحيوان مخزونه لتوفير طاقة البقاء لوظائف جسمه الضرورية، وهذه الطاقة يطرحها الحيوان في صورة حرارة. بزيادة المتناول من M E يقل فقد الطاقة (أي negative retention)، وعندما تكون الطاقة المحتجزة صفر يكون المتناول من M E كافيا لتغطية احتياجات الحفظ لجسم الحيوان. كلما زادت ME المتناولة أكثر، يبدأ الحيوان في احتجاز الطاقة، إما في أنسجة الجسم أو في منتجات مثل اللبن و البيض.



شكل 5.11 كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية (مثال على استفادة المجترات النامية من الطاقة الأيضية).

إن ميل الخط (شكل 5.11) الذي يربط الطاقة المحتجزة بالمتناولة هو قياس لكفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية، فعلى سبيل المثال إذا زادت الطاقة الأيضية التي تناولها الحيوان بمقدار 10 ميجا جول والمحتجز منها زاد بمقدار 7 ميجا جول، فإن كفاءة الاستفادة من ME يمكن حسابها كما يلي: $\frac{7}{10} = 0.7$

(عكس ذلك تحسب الطاقة الزائدة في الغذاء كما يلي: $\frac{3}{10} = 0.3$ من الطاقة الأيضية).

إن قيم الكفاءة مثل 0.7 المحسوبة سابقاً يطلق عليها اصطلاح " عوامل K "، حيث الحرف K يحمل معه رمزاً مكتوباً في الأسفل (subscript) ليدل على الوظيفة التي استخدمت فيها ME، وعوامل K شائعة الاستخدام كما يلي:

عامل K	كفاءة الاستفادة لغرض:
K_m	الحفظ
K_p	ترسيب البروتين
K_f	ترسب الدهن
K_g (K_{pf})	النمو بصفة عامة
K_1	إنتاج اللبن (الإدرار)
K_c	نمو الجنين (الحمل)
K_w	الجهد (مثل حيوان الجر)
K_{wool}	نمو الصوف

لقد استعمل المصطلح K_f ليرمز إلى كل من الكفاءة النوعية لترسيب الدهن (كما أشير له أعلاه) والكفاءة العامة لترسيب الطاقة فيما يعرف "تسمين الحيوانات". أما في الوقت الحاضر، فإن المصطلح المفضل له هو استخدام K_g، على اعتبار أن الحيوانات الآن تنمو أكثر من أنها تسّمن. في شكل 5.11 نجد أن الخط الذي يربط الطاقة المحتجزة بالطاقة الأيضية المتناولة يتغير في درجة ميله عند مستوى الحفظ، حيث يكون أقل انحداراً وبالتالي يشير إلى انخفاض في الكفاءة. العلماء يتناقشون فيما سيكون هناك انحناء مفاجئ (كما في شكل 5.11)، أو أن العلاقة بين المخزون والطاقة الأيضية المتناولة يمكن تمثيلها

بمنحنى متدفق smooth. من ناحية أخرى، ولإدراك ذلك فإنه من الملائم تصور فرق في كفاءة الاستفادة من M E أقل و أعلى من مستوى الحفظ. إن الكفاءة الظاهرية الكبرى عند أقل من مستوى الحفظ نظراً لأنه K_m ليس مقياساً مطلقاً للاستفادة من الطاقة في العناصر الغذائية الممتصة، ولكنها قياس نسبي للكفاءة التي تم بها الحصول على تلك العناصر من الغذاء وذلك لتحل محل مصادر الطاقة المتحصل عليها من مخزونات الجسم؛ هذه الفكرة الصعبة إلى حد ما موضحة فيما بعد.

الميزة الإضافية من شكل 5.11 هي المساحة المظللة على أي من جانبي الخط ويقصد بذلك الإشارة على أن كفاءة الاستفادة من M E متباينة إلى حد كبير. وسوف نرى فيما بعد أن الأسباب الرئيسية لهذا التباين في الكفاءة هي، أولاً طبيعة المركبات الكيميائية التي تحتوي الطاقة الأيضية (ومن ثم طبيعة الغذاء والنمط الذي يهضم به) وثانياً، الوظيفة التي تستخدم فيها هذه المركبات بواسطة الحيوان.

الاستفادة من الطاقة الأيضية لغرض الحفظ

Utilization of metabolizable energy for maintenance

لأغراض الحفظ فإن الحيوان يؤكسد العناصر الغذائية الممتصة من غذائه لتوفير الطاقة اللازمة للجهد بدرجة أساسية. وإذا لم يقدم له غذاء، فإنه يتحصل على هذه الطاقة عن طريق أكسدة دهن الجسم بشكل رئيسي. عندما يعطي له غذاء، ولكن بكميات غير كافية لتوفير كل الطاقة المطلوبة للحفظ، فإن مهمة توفير ATP ستنقل جزئياً من مخزونات الدهن في الجسم إلى العناصر الغذائية الممتصة. إذا انتقلت الطاقة الموجودة في هذه العناصر

الغذائية إلى ATP وبشكل يكافئ ما هو موجود في دهن الجسم، سوف لا تنتج حرارة زائدة بواسطة الحيوان غير تلك المصاحبة وبشكل خاص مع استهلاك وهضم وامتصاص الغذاء (وتدخل حرارة التخمر ضمن هذه الفئة، كذلك جهد الهضم، وهي حرارة تنشأ من الطاقة المستخدمة في مضغ الغذاء وتسييره عبر القناة الهضمية، وفي امتصاص العناصر الغذائية وفي نقلها إلى الأنسجة). إن كفاءة الحصول على الطاقة المتحررة عندما يؤكسد دهن الجسم وتكوين ATP يمكن حسابها من التفاعلات الموضحة في الفصل التاسع ولتكن في حدود 0.67 وإذا أخذنا الجلوكوز، كمثال لعنصر غذائي، فإن الكفاءة تكون مشابهة، وهي حوالي 0.7 لذلك فمن المتوقع أن إعطاء الجلوكوز لحيوان صائم سوف يستخدم بدون أي زيادة في إنتاج الحرارة، أو بمعنى أخر بكفاءة (سعرية) ظاهرية تساوي 1.0، وجدول 5.11 يوضح أن هذا صحيح على وجه التقريب. وتنخفض في الأغنام الكفاءة بسبب فواقد التخمر عندما يعبر الجلوكوز إلى الكرش، ولكن يمكن تجنب هذه الفواقد عند حقنه مباشرةً إلى المعدة الحقيقية "Abomasum".

ويوضح الجدول 5.11 أيضاً أن دهن الغذاء يستخدم للحفظ بكفاءة سعرية عالية، كما هو متوقع. ومن ناحية أخرى، فإن استخدام البروتين لتوفير الطاقة اللازمة للحفظ، تكون هناك حرارة زائدة بشكل واضح وهي حوالي 0.2، ويعزي ذلك جزئيا إلى الطاقة اللازمة لتخليق اليوريا (انظر الفصل 9). أما في المجترات، فإن طاقة الحفظ تمتص بصورة كبيرة في شكل أحماض دهنية طيارة (Volatile fatty acids؛ VFA).

وقد بينت التجارب التي تم فيها حقن أحماض نقية بصورة فردية إلى كرش أغنام صائمة أن هناك فروقاً فيما بينها في كفاءة استخدام ما بها من طاقة (جدول 5.11).

عندما جمعت الأحماض في مخاليط لتمثل وبشكل مشابه لما هو موجود في الكرش، فإن كفاءة الاستفادة كانت عالية ومتماثلة. و بالرغم من ذلك لا تزال أقل من الجلوكوز، و يقودنا هذا التناقض، بالإضافة إلى الطاقة المفقودة بسبب حرارة التخمر في المجترات، لأن نتوقع بأن الطاقة الأيضية سوف تستخدم لغرض الحفظ في الحيوانات التي تمتصها في صورة جلوكوز وبكفاءة أكثر من المجترات.

وقد أجريت تجارب قليلة جدا لتحديد كفاءة استخدام الطاقة الأيضية في الأغذية لغرض الحفظ وهذه التجارب كانت مقصورة بشكل كلي على الحيوانات المجترة المغذّاة على أعلاف خشنة، والنتائج المنتقاة منها أعطيت في جدول 5.11. معظم الطاقة الأيضية لهذه الأعلاف الخشنة تم امتصاصها في صورة أحماض دهنية طيارة. من ناحية أخرى ، فإن كفاءة الاستفادة تكون اقل من المخاليط المصنعة من هذه الأحماض، حيث يزداد في حالة الغذاء الكامل الفقد في الحرارة عن طريق حرارة التخمر وبواسطة الطاقة المستخدمة في الجهد المبذول في الهضم. وبالرغم من هذا فان الطاقة الأيضية في هذه الأغذية تم استخدامها بكفاءة عالية إلى حد ما.

جدول 5.11 الطاقة الأيضية في عناصر غذائية وأغذية مختلفة وكفاءة الاستفادة منها لغرض الحفظ

	المجترات	الخنازير....الخ[a]	الطيور
مكونات غذائية			
جلوكوز	0.94 {1.00}[b]	0.95	0.89
نشا	0.80	0.88	0.97
زيت زيتون		0.97	0.95
بروتين الكازين	0.70{0.82}[b]	0.76	0.84
نواتج تخمر			
حمض خليك	0.59		
حمض بروبيونيك	0.86		
حمض بيوتاريك	0.76		
مخلوط A[c]	0.87		
مخلوط B[d]	0.86		
مركزات			
ذرة صفراء	0.80		
أغذية متوازنة	0.70	0.85	0.90
أعلاف خشنة			
عشب الزوان، نامي	0.78		
عشب الزوان، ناضج	0.74		
دريس الميدو	0.70		
دريس برسيم حجازي	0.82		
سيلاج أعشاب	0.71 – 0.65		

a تشمل الكلاب والقطط.

b القيم الموضوعة بين الاقواس نتائج الامتصاص عن طريق الاثني عشر.

c مخلوط **A** خليك **0.25**؛ بروبيونيك **0.45**؛ بيوتاريك **0.30**.

d مخلوط **B** خليك**0.75** ؛ بروبيونيك **0.15**؛ بيوتاريك **0.10**.

استغلال الطاقة الأيضية في الأغراض الإنتاجية

Utilization of metabolizable energy for productive purposes

بالرغم من أن الطاقة تخزن بواسطة الحيوان في نواتج مختلفة بشكل كبير- في دهن الجسم، العضلات، اللبن، البيض والصوف- فإن الطاقة في هذه المنتجات موجودة أساسا في الدهن والبروتين (في اللبن فقط تكون أكثر الطاقة في صورة كربوهيدرات). لهذا فإن كفاءة استغلال الطاقة الأيضية في أغراض إنتاجية تعتمد وبدرجة كبيرة على الكفاءة السعرية لمسارات الأيضية الداخلة في تصنيع الدهن والبروتين من العناصر الغذائية الممتصة. وقد تم توضيح هذه المسارات بشكل مفصل في الفصل التاسع. وعموما يكون تخليق أي من الدهن أو البروتين بعملية أكثر تعقيدا من عملية هدمه، وبنفس الطريقة فإن تشييد المبني يكون أكثر صعوبة من هدمه. ليس فقط أن المواد يجب أن تكون موجودة بالنسب الصحيحة، ولكن يجب أن تصل إلى المكان في الوقت المناسب، وان غياب أي مادة معينة قد يمنع أو يؤدي إلى فساد خطير في العملية بأكملها. لهذا وكما هو موضح في الفصل التاسع فإن تصنيع الأحماض الدهنية متوقف على توفر $NADP^+$ المختزلة، وبسبب التعقيدات الكثيرة في عمليات التصنيع فإنه يصعب تقدير كفاءتها من الناحية النظرية.

الاستفادة من الطاقة الأيضية في غرض النمو

Utilization of metabolizable energy for growth

تبين في الفصل التاسع انه لتخليق ثلاثي الجلايسرول Tiacylglycerol من الخلات و من الجلوكوز كفاءة تقدر من الناحية النظرية بحوالي 0.83، والقيمة العالية متوقعة لتخليق الدهن من الأحماض الدهنية طويلة السلسلة من منشأ غذائي، غير أن قيمة ادني لتكوين الدهن من بروتين عندما تكون الطاقة مطلوبة لتصنيع اليوريا والتي يطرح فيها نيتروجين الأحماض الأمينية. وتكون الطاقة اللازمة لربط الأحماض الأمينية عند تصنيع البروتين صغيرة نسبيا وإذا وجدت بالنسبة الصحيحة فإن كفاءة تخليق البروتين من الناحية النظرية تكون حوالي 0.88 (الفصل التاسع). ومن ناحية أخرى، عندما يراد تخليق بعض الأحماض الأمينية بينما أزيلت المجموعة الأمينية من البعض الآخر، فان الكفاءة سوف تكون اقل بكثير؛ كما يناقش فيما بعد فان الكفاءة التي تمت ملاحظتها أثناء تخليق البروتين كانت اقل بكثير من كفاءة تصنيع الدهن. ويمكن أن يتم تخليق سكر اللاكتوز من الجلوكوز وبكفاءة في حدود 0.94 (الفصل التاسع)، ولكن في الأبقار الحلوب فان الجلوكوز الذي استغل سيكون معظمه من حمض البروبيونيك أو من المحتمل انه من أحماض (Gluconeogenesis)، وتكون كفاءة تخليق اللاكتوز في الحد الأدنى. لقد تم حساب أن القيم المعطاة أدناه جميعها من مسارات أيضية ملائمة، ولربطها بالكفاءة التي ستستخدم بها الطاقة الأيضية ومن المهم تذكر أنها ستنخفض بالفقد في الطاقة والذي تمت الإشارة إليه سابقا، والمرجع مباشرة إلى استهلاك، هضم وامتصاص الغذاء. عند قياسها على الحيوان فان كفاءة فعالية الطاقة التي يصنع منها احد مكونات الجسم كالبروتين تعتبر عملية معقدة بحقيقة ما ذكر سابقا بأنه من النادر أن يخزن الحيوان الطاقة في مادة واحدة أو حتى في منتج

واحد. ومع ذلك عندما يخزن الحيوان النامي الطاقة في صورة بروتين ودهن من الممكن تقدير الطاقة المستخدمة في كل من هذه العمليات بواسطة طريقة رياضية تعرف بتحليل الانحدار (Regression analysis). استعملت تحليلات من هذا النوع في العديد من تجارب قياس القيمة السعرية التي أجريت على الخنازير، والنتائج موضحة في جدول 6.11 وتكون القيم الفعلية عادة اقل من النظرية، وتكون التناقضات صغيرة نسبيا للدهن المرسب ولكنها اكبر بكثير في حالة ترسيب البروتين. لهذا فان قيمة حوالي 0.5 لبروتين مقدرة (بمقياس القيمة السعرية) اقل بكثير من القيمة النظرية المعطاة سابقا 0.88 ويعتقد بان السبب الرئيسي لهذا التناقض الكبير لكون ترسب البروتين ليس مجرد تخليق بروتين ولكنه كناتج لعمليتين وهما التخليق والهدم. البروتين في معظم أنسجة الجسم في حالة مستمرة من الهدم وإعادة التخليق بواسطة تفاعلات مولدة للحرارة وهذا التحول للبروتين يقلل الكفاءة السعرية لترسيب البروتين. وسيكون من المتوقع بأن بروتينات الأنسجة ذات معدل تحول عالٍ (مثل تلك الموجودة في القناة الهضمية) ترسب بكفاءة سعرية منخفضة بدرجة خاصة، بينما ذات التحول القليل أو التي لا يحدث لها تحول قبل أن تهدم قد تم تخليقه بكفاءة سعرية عالية. ويمكن أن نتوقع انه في حالة الخنازير والحيوانات غير المجترة الأخرى ومع الأغذية العادية فان كفاءة الاستفادة للنمو بصفة عامة تكون متوسطة وهي بين قيم الكفاءة التي وجدت للدهن والبروتين. ويمثل ترسيب البروتين في الخنازير 20 % من مجمل الطاقة المحتجزة، ولهذا فان الكفاءة المتوقعة تكون 0.7. لقد تم التأكيد على هذه القيمة بالعديد من تجارب قياس القيمة السعرية التي أجريت على الخنازير.

جدول 6.11 القيم النموذجية لكفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية لغرض النمو في الخنازير

صورة مخزون الطاقة	مصدر القيمة	مادة التفاعل أو الغذاء	الكفاءة
الدهن (K_f)	نظرياً	خلات + جلوكوز	0.81
		دهن الغذاء	0.99
		بروتين الغذاء	0.69
	الفعلية	غذاء طبيعي	0.74
	(Calorimetric)	دهن الغذاء	0.86
		كربوهيدرات الغذاء	0.76
		بروتين الغذاء	0.66
		أحماض دهنية طيارة	0.71 - 0.65
البروتين (K_p)	نظرياً	أحماض أمينية	0.88
	الفعلية Calorimetric	أحماض أمينية	0.55 -0.45
بروتين + دهن (K_{pf})		عدةأغذية(المتوسط)	0.71
		شعير	0.60
		ذرة صفراء	0.62
		كسب فول الصويا	0.48

في الدواجن، تكون قيم كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية لغرض النمو مشابه لما وجد في الخنازير، وهي تقع في مدى 0.60 – 0.80 ولكن الأغذية المتزنة تقترب من 0.70. أما في المجترات، فتكون كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية عامة اقل مما في الخنازير، وهي أيضاً أكثر تباينا، كما اتضح في جدول 7.11. عندما غذيت الأغنام والأبقار على أغذية مشابه لتلك التي تعطي عادة للخنازير (أي أن أساسها مركزات تحتوي على غلال بدرجة كبيرة)، فإن عامل الكفاءة K_g قلما يتجاوز 0.62 وبالتالي فهو حوالي 10% اقل من متوسط القيمة الخاصة بالخنازير المفترضة أعلاه وهي 0.70. ومع ذلك تكون قيم K_g

للمجترات أكثر انخفاضاً عندما غذيت هذه الحيوانات على أعلاف خشنة وهي أيضاً أكثر تباينا. وهكذا فإن أفضل الأعلاف الخشنة مثل أعشاب الزوّان غير الناضجة والمجففة Ryegrass. أعطت قيم K_g اعلي من 0.5، بينما الأعلاف ذوات النوعية الرديئة مثل تبن القمح تعطي قيماً منخفضة تصل إلى 0.2. سوف نري فيما بعد (الفصل 12) أن قيم K_g لأعلاف المجترات مرتبطة بتركيزات الطاقة الأيضية بها. الواضح أن قيم K_g هذه ادني بكثير من كل من القيم النظرية والسعرية الفعلية الموضحة في جدول 6.11. والآن نفكر في كيفية شرحها وتوضيحها.

إن حرارة التخمر كما تم تفسيرها سابقا، تعد جزءا رئيسيا في تدني فعالية الطاقة لغرض النمو في المجترات؛ ولهذا يمكن تفسير معظم الاختلافات في k_g بين الخنازير والمجترات والذي قد يصل إلى 10%. ولقد رأينا الآن (الفصل 8) بان معظم الطاقة في نواتج الهضم عند المجترات تكون في صورة أحماض دهنية طيارة، مع كميات صغيرة نسبيا من الطاقة في صورة شحوم Lipids. أحماض أمينية (من بروتينات ميكروبية أو غذائية)، وكربوهيدرات تخطت التخمر في الكرش. علاوة على ذلك هناك تباين في مكونات مخاليط الأحماض الدهنية الطيارة تبعا لطبيعة الغذاء ويسود منها حمض الخليك في الأغذية الخسنة أو حمض البروبيونيك في حالة الأغذية المركزة. في المرحلة المبكرة من دراسة أيض الطاقة في المجترات تم إدراك أن الطاقة الأيضية المشتقة من أعلاف رديئة الهضم مثل الأتبان والدريس منخفض الجودة، و تستخدم هذه الطاقة لغرض النمو بكفاءة منخفضة (0.2– 0.4) كما هو موضح في جدول 7.11. أولاً هذه الكفاءة المنخفضة تعزى إلى استهلاك فيما يعرف

بجهد الهضم والذي اعتبر بأنه الطاقة اللازمة لمضغ الأغذية الليفية وتسيير بقاياها غير المهضومة خلال القناة الهضمية.

جدول 7.11 كفاءة استخدام الطاقة الأيضية في العناصر الغذائية والأغذية المختلفة لغرض الإنتاج والتسمين في المجترات

مكونات الغذاء	الكفاءة	نواتج التخمر	الكفاءة
جلوكوز	0.54،(0.72)[a]	حمض الخليك	0.60 - 0.33
سكروز	0.58	حمض بروبيونيك	0.56
نشا	0.64	حمض بيوتاريك	0.62
سيليولوز	0.61	مخلوط A [a]	0.58
زيت فول سوداني	0.58	مخلوط B [b]	0.32
بروتينات مخلوطة	0.51	حمض لاكتيك	0.75
بروتين كازين	0.50،(0.65)[a]	إيثانول	0.72
مركزات		أعلاف خشنة	
شعير	0.60	عشب الزوان المجفف، نامي	0.52
شوفان	0.61	عشب الزوان المجفف، ناضج	0.34
ذرة صفراء	0.62	دريس ميدو	0.30
كسب فول سوداني	0.54	دريس برسيم حجازي	0.52
كسب فول الصويا	0.48	سيلاج أعشاب	0.60 - 0.21
		تبن قمح	0.24
		عشب مجفف، مقطع	0.31
		عشب مجفف، مكبوس	0.46

[a]: القيم الموضوعة بين الأقواس نتائج الامتصاص عن طريق ألاثني عشر.[b]: مخلوط A خليك 0.25؛ بروبيونيك 0.45؛ بيوتاريك 0.30. [c]: مخلوط B خليك 0.75 ؛ بروبيونيك 0.15؛ بيوتاريك 0.10.

يظهر أخيراً أن المحتوى العالي من حمض الخليك في الأحماض الدهنية الطيارة يسبب أن هضم مثل تلك الأغذية هو المسئول عن خفض قيم كفاءة استخدامها لغرض النمو(K_g). ولقد لوحظ اختلاف كبير في قيمة (K_g) بعد حقن مخاليط مختلفة من الأحماض الدهنية الطيارة في كرش أغنام التسمين(انظر جدول 7.11). من ناحية ثانية ففي تجارب لاحقة باستخدام مخاليط ذوات اختلافات بسيطة وبأحسن اتزان مع العناصر الغذائية الأخرى (مثل البروتين) وعلي حيوانات صغيرة (نامية بدلا من المسمنة)، من ذلك اتضح أن تأثيرات نسب الأحماض الدهنية الطيارة على (K_g) كانت اصغر بكثير. النظرة الحالية انه إذا أضيف حمض الخليك إلى غذاء جيد التوازن فانه يستخدم بكفاءة اقل من حمض البروبينيك ومن حمض البيوتاريك. لذلك فان الاهتمام قد وجه مرة أخرى إلى جهد الهضم كمسبب للعجز في استخدام الطاقة الأيضية من الأعلاف ذوات النوعية الرديئة. وكما تم تفسيره سابقا بان القناة الهضمية والأنسجة المصاحبة لها والتي تعمل بالجهاز المعوي البابي (ما يعرف أحشاء التصريف البابية Portal - drained viscera وتمثل هذه نسبة عالية — ما يصل إلى 50 % – من الحرارة الزائدة في الغذاء في المجترات، بالرغم من أن الترابط بين الحرارة الناتجة من هذا المصدر والقوام الليفي للغذاء Fibrousness لم يكتمل إثباته بعد. بالرغم من ذلك فإن الشيء الجوهري أن معاملة الأعلاف لخفض درجة تليفها عن طريق طحنها وتحبيبها أدى إلى تحسين كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية (جدول 7.11). ومهما يكن تفسير العجز في استخدام الطاقة الأيضية لغرض الإنتاج بواسطة المجترات المعطاة أعلاف رديئة فان المشكلة من الناحية العملية لازالت قائمة.

إن نظم إنتاج المجترات المعتمدة على تلك الأغذية، وكما هو الحال في معظم الأقطار النامية الاستوائية فهي تتميز بكفاءة منخفضة. بالرغم من ذلك فقد اثبت الآن إمكانية تحسين الكفاءة بواسطة ضمان أن الأحماض الدهنية الطيارة الناشئة من هضم أعلاف خشنة رديئة النوعية يتم توازنها عن طريق دعمها بعناصر غذائية أخرى وخاصة البروتين والكربوهيدرات المتعددة ذوات الرابطة α والتي بإمكانها تخطي تخمرات الكرش.

الاستفادة من الطاقة الأيضية لغرض إنتاج اللبن أو البيض

Utilization of metabolizable energy for milk and egg production

إن هذه الصور الإضافية من إنتاج الحيوان من النادر أن تحدث بمفردها، إنما تكون عادة مصحوبة بزيادات أو فواقد في دهن أو بروتين الجسم في الثدييات المدرة للبن أو الطيور المنتجة للبيض. يعني هذا بان تقديرات الكفاءة الجزئية لتصنيع اللبن أو البيض في الجسم يجب أن تجري عادة بواسطة تجزئة حسابية للطاقة الأيضية المستغلة. حيث الأغذية المطلوبة لهذه التصنيعات معقدة نوعا ما، وليس من الممكن إعطاء معاملات للكفاءة لعنصر غذائي مفرد كما تم العمل به في حالة الحفظ و النمو في جداول 5.11 – 7.11.

خلال السنوات الثلاثين الماضية، أجريت العديد من تجارب ميزان لطاقة على الأبقار الحلوب، وذلك في الولايات المتحدة وهولندا بالدرجة الأولى؛ وقد أجريت تجارب مماثلة أيضاً على الضأن والماعز الحلوب. وقد أظهرت نتائج تحاليل هذه التجارب بان كفاءة استخدام الطاقة الأيضية في تصنيع اللبن في المجترات تتباين بمدى صغير نسبياً وهي تتراوح من 0.56 للأغذية الرديئة (7 ميجا جول طاقة أيضية /كجم مادة جافة) إلى 0.66 لأحسن

الأغذية (13 ميجا جول طاقة أيضية /كجم مادة جافة). الأغذية الشائعة الاستخدام للمجترات الحلوب يتم افتراض قيمة ثابتة من K_l مقدارها 0.60 أو 0.62. وبنفس التحاليل تم حساب بناء مخزون الطاقة للحيوان الحلوب، والمحتمل أنه أساسا من لدهن، فيمكنها إتمام هذا المخزون بنفس الكفاءة تقريبا (0.60) مثلما هي لتصنيع اللبن. لذلك نجد أن عامل K_g أو K_f للمجترات الحلوب يكون في قمة نهاية مدى العوامل الخاصة بالمجترات غير الحلوب (جدول 7.11). وتستطيع الحيوانات أن تستخدم مخزونات الطاقة في الجسم لتصنيع اللبن بكفاءة تعادل حوالي 0.84؛ و يعني هذا أن البقرة التي تعزز مخزوناتها بالقرب من نهاية احد مواسم الإدرار ثم تستعملها لتصنيع اللبن في بداية الموسم التالي، يكون لها كفاءة إجمالية $0.60 \times 0.84 = 0.50$.

إن الكفاءة الأكبر لمجترات الحلوب عنها في الحيوانات النامية أو المسمنة قد ترجع جزئيا إلى أن ابسط صور مخزون الطاقة يكون في اللبن، أي اللاكتوز وأحماض دهنية قصيرة السلسلة. قد يصنع بروتين اللبن بكفاءة وذلك بسبب سرعة انتزاعه من الجسم، وانه لا يحتاج إلى أن يكون جزءا من تحويل الأحماض الأمينية التي تتعرض لها معظم بروتينات الجسم. كفاءة استخدام الطاقة الأيضية لغرض تصنيع اللبن في إناث الخنازير الحلوب تكون حوالي نفس قيمة K_g في الخنازير النامية (0.65 — 0.70). تم تقدير تصنيع البيض في الدجاج البيض وكانت بكفاءة في مدى (0.60 - 0.80)، وبقيمة متوسطة 0.69، وقدرت كفاءة تصنيع بروتين البيض فكانت في حدود (0.45— 0.50)، ولدهن البيض

(0.75 – 0.80). تم كذلك تحقيق كفاءة عالية في تصنيع الجسم في الدجاج البياض (
0.75. – 0.80).

العوامل الأخرى المؤثرة في استخدام الطاقة الأيضية

Other factors affecting the utilization of metabolizable energy

التأثيرات المصاحبة **Associative effects**

لقد تم في الفصل العاشر توضيح أن القيمة الهضمية للغذاء يمكن أن تتباين تبعاً لطبيعة العليقة التي تشمله. وقد لوحظت كذلك التأثيرات المصاحبة من هذا النوع في الاستفادة من الطاقة الأيضية. حيث لوحظ في إحدى التجارب أن استخدام الطاقة الأيضية في مسحوق الذرة لغرض التسمين كان بكفاءة ظاهرية تتراوح بين 0.58 – 0.74 تبعا لطبيعة العليقة الأساسية التي أضيفت إليها. ويرجح أن تلك الفروق في المجترات، نشأت خلال الاختلافات في تأثير الغذاء على نمط هضم العليقة بالكامل، وبالتالي غلي الصورة التي امتصت بها الطاقة الأيضية. وقد يتضمن ذلك أن تكون لقيم الاستفادة من الطاقة الأيضية في الأغذية الفردية أهمية محددة.

توازن العناصر الغذائية **Balance of nutrients**

لقد تم تغطية تأثير نسب العناصر الغذائية في الغذاء بصورة جزئية في الأجزاء السابقة من هذا القسم. ويميل حيوان التسمين إلى استخدام الطاقة الأيضية بكفاءة أكثر إذا توفرت في صورة كربوهيدرات عنها إذا توفرت في صورة بروتين. وبشكل مماثل فإن

الحيوان النامي إذا لم يتوفر له البروتين بشكل كاف أو عدم كفاية في حمض أميني معين فإنه سوف يميل إلى تخزين الطاقة في صورة دهن بدلا من البروتين، و من المحتمل أن كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية سوف تتغير. إن نقص المعادن والفيتامينات يمكن أن تتداخل مع استخدام الطاقة. لقد أدى نقص الفوسفور مثلا إلى نقص حوالي 10 % في استخدام الطاقة الأيضية في الأبقار. وهذا التأثير غير مدهش على ضوء الدور الحيوي للفوسفور في التفاعلات المولدة للطاقة في مراحل الأيض الوسطية.

مراجع الفصل الحادي عشر

1. Blaxter K L 1967 *The Energy Metabolism of Ruminants*. London, Hutchinson.
2. Blaxter K L 1989 *Energy Metabolism in Animals and Man*. Cambridge University Press.
3. McLean J A and Jobin G 1987 *Animal and Human Calorimetry*. Cambridge University Press.
4. Minson D J 1990 *Forage in Ruminant Nutrition*. New York Academic Press.
5. Reid J T, White C D, Anrique R and Fortin A 1980 Nutritional energetics of livestock: Some present boundaries of knowledge and future research needs. *Journal of Animal Science*,**51**: 1393-1415.
6. Wenk C and Boessinger M (eds) 1991 *Energy Metabolism of Farm Animals*. Schriftenreihe aus dem Institut für Nutztierwissenschaften, ETH, Zürich (Proceedings of the 12th European Association for Animal Production Symposium: see also other volumes in this series).

الفصل الثاني عشر

تقييم الأغذية

(ج) أنظمة التعبير عن قيمة الطاقة في الأغذية

(ج) أنظمة التعبير عن قيمة الطاقة في الأغذية

(C) Systems for expressing the energy value of foods

تكون الخطوات الأساسية للمربي الذي يسعى لتكوين عليقة علمية أولاً بتقدير احتياجاتها من العناصر الغذائية وثانياً باختيار الأغذية التي يمكنها توفير هذه الاحتياجات. يتم عمل هذا التوازن بين الطلب والعرض بشكل منفصل لكل عنصر غذائي وفي العديد من الحالات يعطي الاعتبار الأول لتلك الأغذية التي توفر الطاقة. وهناك مبررات مقنعة عن سبب إعطاء الأولوية للطاقة. في المقام الأول أن العناصر الغذائية التي توفر الطاقة هي تلك الموجودة في الغذاء بكميات كبيرة، و يعني هذا أن الغذاء إذا خصص لتغطية الاحتياجات من العناصر الغذائية الأخرى أولاً ثم وجد به نقص في الطاقة فان ذلك يتطلب مراجعة كبيرة لمكوناته. وعلى العكس فإن نقص معدن أو فيتامين يمكن أن يصحح في أغلب الأحيان وبكل سهولة بواسطة إضافة كمية صغيرة من مصدر مركز.

ميزة إضافية تميز بها العناصر الغذائية المحتوية على الطاقة عن الأخرى وهي نمط أداء الحيوان عندما يقاس كزيادة في الوزن الحي أو اللبن أو إنتاج البيض استجابة للتغيرات في الكميات المزودة.

حيث أن الحيوان عند مستوى من الأداء مثل عجل مخصي يزيد 1 كجم/يوم سوف يستجيب في أخر الأمر إذا انخفض مخصص أي عنصر غذائي إلى أدنى من الكمية المطلوبة لهذا المستوى من الأداء، وزيادة عنصر غذائي وحيد أعلى من الاحتياجات العامة له تأثير

خفيف. والمثال على ذلك فإن زيادة كمية فيتامين A المزودة إلى ضعف الاحتياجات من المستبعد أن تؤثر في زيادة الوزن الحي للعجل (بالرغم من أنها قد ترفع مخزون فيتامين A لديه). إذا زاد المتناول من الطاقة وحدها فإن الحيوان سوف يحاول أن يحتفظ بطاقة أكثر، إما جزئياً كبروتين إذا كانت كمية النيتروجين كافية أو كلياً كدهن ويؤدي ذلك إلى زيادة الوزن المكتسب. وفي الواقع أن المأكول من الطاقة هو أساس الإنتاج بما أن الحيوان يستجيب باستمرار للتغيرات في الكمية الإضافية. إذا وجدت عناصر غذائية أخرى بكميات تكفي فقط لاحتياجات الحيوان فمن الأرجح أن الاستجابة إلى زيادة المأكول من الطاقة يكون غير مرغوب، ويرجح أن يكون مخزون الدهن في الجسم يزيد الحاجة إلى المعادن والفيتامينات المصاحبة لأنظمة الإنزيمات المتضمنة في تخليق الدهن وبهذا تعجّل نقص تلك المواد. وعليه فإن المهم هو المحافظة على توازن صحيح بين الطاقة، وهي الأساس و بين العناصر الغذائية الأخرى في الغذاء.

أنظمة الطاقة ونماذج الطاقة Energy Systems and energy models

نظام الطاقة هو في الأساس مجموعة قواعد تربط علاقة ما يتناوله الحيوان من الطاقة بأدائه أو إنتاجيته. يمكن أن يستخدم النظام إما للتنبؤ بأداء الحيوان من مستوى معين من الطاقة المتناولة أو لحساب الطاقة المتناولة المطلوبة للحصول على مستوى معين من الأداء. وتتكون أبسط أنظمة الطاقة من مجموعة قيم، مجموعة لاحتياجات الحيوان من الطاقة والأخرى لقيم الطاقة في الأغذية. ومن ناحية مثالية يتم التعبير عن المجموعتين بنفس

الوحدات. مثلاً لو أن نمو حيوان ما بمعدل 1 كجم لكل يوم يخزن 15 ميجا جول من الطاقة فإن احتياجاته من الطاقة يتم صياغتها بحوالي 15 ميجا جول/كجم زيادة وزنية. إذا كان الغذاء المستخدم للوصول لهذا الزيادة يحتوي 5 ميجا جول طاقة صافية لكل كيلوجرام، فيمكن حساب الكمية المطلوبة بسهولة كما يلي: $\frac{15}{5}$ = 3 كجم. وفي هذا المثال تم التعبير عن كل من احتياج الحيوان للطاقة وقيمة الطاقة في غذائه في شكل طاقة صافية والنظام المستخدم وصف بأنه نظام الطاقة الصافية. ومن ناحية ثانية رأينا في الفصل السابق أن قيمة الطاقة الصافية للغذاء ليست قيمة ثابتة ولكنها تختلف تبعاً للوظيفة المطلوبة من قبل الحيوان metabolizable energy بما أن الطاقة الأيضية في الغذاء تستخدم بكفاءة أكثر للبقاء مقارنة للنمو (أو للبن أو لإنتاج البيض)، فإن سوف يكون للغذاء على الأقل قيمتان للطاقة الصافية.

ولهذا السبب فقد يكون الأفضل صياغة قيمة الطاقة في الغذاء بوحدات أقل اختلافاً، وفي الحقيقة فإن معظم أنظمة الطاقة تطبق الطاقة الأيضية كمقياس لقيمة الطاقة في الأغذية. عندما يتم التعبير عن طاقة الغذاء في صورة طاقة أيضية واحتياجات الحيوان يعبَّر عنها كطاقة صافية فلن يكون بالإمكان موازنة أحداهما بالآخر. ولوضعهما مع بعض فإن النظام يحتاج إلى عنصر إضافي وهو ما يسمى القاسم المشترك (interface) وهذا يكون طريقة أساسية لحساب تكافؤ الطاقة الصافية والأيضية في أي حالة معينة من تكوين العليقة لذلك ففي المثال المعطى أعلاه إذا تم التعبير عن قيمة الطاقة في الغذاء بمقدار 10 ميجا جول طاقة أيضية لكل كيلوجرام ، فإن عنصر القاسم المشترك المطلوب ليكون محدد لقيمة (Kg) وهو كفاءة استخدام الطاقة الأيضية لغرض النمو، لو أن ذلك كان 0.5 فإن قيمة الطاقة

الصافية في الغذاء يتم حسابها هكذا: 10 × 0.5 = 5 ميجا جول/كجم كما سبق. إن استخدام القاسم المشترك interface يتيح لنظم الطاقة لأن تصبح أكثر تفصيلاً وأكثر تعقيداً مما لو تأسَّست علي مجرد تزويد الحيوانات بالطاقة أو إنتاجها لها. لذلك من الممكن تقسيم الطاقة ثانية إلى طاقة أيضية مزودة بواسطة البروتين وبواسطة الدهن وبواسطة الكربوهيدرات. وبشكل مشابه فإن الطاقة المخزنة أمكن تقسيمها إلى تلك التي في صورة بروتين و إلى تلك التي في صورة دهن . وأمكن للقاسم المشترك الآن أن يتضمن المسارات البيوكيميائية التي تربط المأكول من العنصر الغذائي والمخزن. ومن ذلك أصبح نظام يعرف بالنموذج model. بالرغم من عدم وجود تمييز قاطع بين أنظمة الطاقة ونماذج الطاقة (يمكن أن تصلح الأنظمة كنماذج بسيطة)، وتعد نماذج الطاقة حالياً كأدوات علمية وليست عملية يمكنها إدخال كل المعلومات العلمية المناسبة والمتوفرة وتكون فعاليتها غالباً ذات قيمة في تعيين أو تحديد الثغرات في المعرفة العلمية. إنها ذات فعالية بمعنى انه يمكن استخدامها ليس فقط للتنبؤ بحجز الطاقة ومعدَّل النمو، ولكن لتوضيح كيفية أن مخزون الطاقة قد يقسم فيما بين مختلف الأنسجة والأعضاء في الجسم. بالرغم من أن مثل هذه التعقيدات لم تدخل حالياً إلى أنظمة الطاقة فإن زيادة استخدام الحاسوب Computers في تكوين علائق الماشية (وحتى في المزرعة) جعل من الأسهل للنظم العملية لتصبح أكثر تفصيلاً بدون أن تكون غير عملية، ومع ذلك ففي هذا الفصل سوف يكون التركيز على أنظمة الطاقة أكثر منه على نماذج الطاقة.

قبل مناقشة بعض الأنظمة الفعلية للطاقة يجب معرفة نقطتين أساسيتين. الأولى وهي أن تقييم قيمة الطاقة في الغذاء يتطلب إجراءات مجهدة ومعقدة والتي لا يمكن تطبيقها، مثال ذلك اختبار عينة خرطان أو سيلاج أحضرت بواسطة المزارع إلى كيميائي استشاري.

لهذا السبب فإن ميزة أساسية لمعظم النظم هي طريقة للتنبؤ بقيمة الطاقة من بعض أكثر خصائص الغذاء سهولة في القياس مثل مكوناته الكلية أو المهضومة.

ثانياً : من المهم التحقق أن أنظمة الطاقة للمجترات أكثر تعقيداً من تلك المستخدمة للخنازير أو الدواجن. الأسباب الرئيسية للتعقيدات الكثيرة لأنظمة المجترات هي كبر تنوع الأغذية التي تشتملها وسعة نطاق خيارات الهضم التي تقوم بها أقسام القناة الهضمية.

أنظمة الطاقة للمجترات Energy systems for ruminants

الأنظمة البدائية للطاقة Early energy systems

لنظم الطاقة تاريخ يرجع إلى النصف الأول من القرن التاسع عشر، ولكنها لم تقدم وصفاً كافياً لاستغلال الطاقة إلى أن استخدم قياس السعرية في الحيوان في النصف الثاني من ذلك القرن. قام كل من H.P. Armaby بجامعة بنسلفانيا و O. Kellner بمحطة تجارب Möckern بألمانيا باستعمال نتائج دراسات قياس السعرية باستنباط نظم الطاقة المبينة على قيم الطاقة الصافية في الأغذية وكان ذلك حوالي سنة 1900. وتختلف الأنظمة في بعض النواحي وأكثرها وضوحاً الوحدات المستخدمة. عبّر Armsby عن الطاقة الصافية بمصطلح سعرات Calories (الوحدة التي سبقت الجول)، غير أن kellner اعتقد أن المزارعين يمكن أن تصبح لهم صعوبة في فهم السعرات وعبر عن قيمة الطاقة الصافية للأغذية نسبة إلى قيمة الطاقة الصافية في المكون الشائع للغذاء وهو النشا. على سبيل المثال إذا كانت قيمة الطاقة الصافية للشعير 1.91 ميجا كالوري/كجم وأنها للنشا 2.36 ميجا كالوري/كجم ، إذن يمكن القول بأن 1 كجم من الشعير له مكافئ نشا $\frac{1.91}{2.36} = 0.81$ كجم. لقد واجهت أنظمة

كل من kellner و Armsby صعوبات سببها الفروق في قيم الطاقة الصافية في الأغذية لأغراض الحفظ، النمو ... الخ، واستعملوا قيماً تقريبية لتجنب هذه الصعوبات.

تم استعمال نظام مكافئ النشا لكلنر kellner (بصورة رئيسية في أوربا) كأساس لأنظمة تكوين العلائق العملية حتى السبعينيات من القرن الماضي، وبقي وبشكل محور في جمهورية ألمانيا الديموقراطية السابقة والي فترة حديثة إلى حد ما. وصف كامل لنظام مكافئ النشا اشتملت عليه الطبعتان الأولى والثانية من هذا الكتاب (1966 و 1973). لقد تم إدخال نظام الطاقة الصافية لأرمسبي " Armsby " في فترة ما في العمل المرجعي القياسي على تغذية الماشية في الولايات المتحدة الأمريكية في كتاب feeds and feeding لمؤلفه F.B.Morrison ولكن لن يستعمل بكثرة في العمل.

كان النظام المفضل في أمريكا ولعدة سنوات هو نظام مجموع العناصر الغذائية المهضومة " TDN " الذي ذكر في الفصل 10. بالرغم من أن نظام مجموع العناصر الغذائية المهضومة مثل نظام كلنر " kellner " يطبق وحدات ليست وحدات الطاقة ، فإن قيم TDN في الأغذية يمكن تحويلها بسهولة و إلى حد ما إلى قيم طاقة أيضية.

نظام الطاقة الأيضية المستخدم في بريطانيا

The Metabolizable Energy System Used In Britain

إن نظام الطاقة المستخدم الآن للمجترات في بريطانيا كان فد تم إدخاله في صورته الأصلية في 1956 عن طريق مجلس البحوث الزراعية في المملكة المتحدة. وتم إعداد نسخة

معدَّلة من هذا النظام بواسطة المجلس في عام 1980. وطبع في كتاب تحت عنوان احتياجات الماشية المجترة من العناصر الغذائية

(The Nutrient Requirements Of Ruminant Livestock) ويشار إلى هذه النسخة بشكل عام كنظام **ARC، 1980**. وقد تم تقييم النظام حديثاً وتم تحويره بواسطة فريق أممي بحثي وبعضوية متساوية من مجالات البحوث، الاستشارات و وأخصائي التغذية التجاريين . هذا وقد نشر تقرير هذا الفريق البحثي في عام 1990 عن طريق المكتب الزراعي لرابطة الشعوب الانجليزية

(CAB ; Commonwealth Agricultural Bureaux) (انظر الدراسات الإضافية). إن وصف النظام المعطى هنا يكون مقتصرا مبدئيا علي خصائصه الأساسية وابسط أشكال عمله. إن نسخة النظام المستخدمة في الممارسة العملية تشتمل على بعض التحويرات التي سيتم مناقشتها فيما بعد. ويقدم النظام وتقديرات الاحتياجات من الطاقة لستة أنواع من المواشي (أبقار وأغنام، نامية، حوامل ومدرة للَّبن)، لكن الأمثلة الواردة في هذا الفصل اقتصرت على الأبقار النامية والمدرة للبَّن. وسيشار إلى الاحتياجات من الطاقة للأنواع الأخرى من المجترات في أبواب لاحقة في نظام ARC، 1980 وقد تم التعبير عن قيم الطاقة في الأغذية بمصطلح الطاقة الأيضية ويتم حساب قيمة الطاقة الأيضية للعليقة بواسطة إضافة إسهامات الأغذية المكونة للعليقة. ويعبَّر عن الاحتياجات من الطاقة للحيوانات بمصطلحات مطلقة " absolute " مثل الطاقة الصافية. الميزة الأساسية للقاسم المشترك هي سلسلة من المعادلات للتنبؤ بكفاءة استغلال الطاقة الأيضية لغرض الحفظ والنمو والإدرار (جدول1.12).

جدول 1.12 كفاءة استغلال الطاقة الأيضية بواسطة المجترات لأغراض الحفظ و النمو وإنتاج اللبن

نسبة الطاقة الأيضية من الطاقة الكلية (qm)	0.4	0.5	0.6	0.7
تركيز الطاقة الأيضية (ميجا جول/كجم مادة جافة)	7.4	9.2	11.0	12.9
الحفظ km	0.643	0.678	0.714	0.750
النمو والتسمين kg	0.318	0.396	0.474	0.552
الإدرار k_1	0.560	0.595	0.630	0.665
المعادلات : **0.503 + q m 0.35 = km** **0.006 + qm 0.78 = kg** **0.420 + qm 0.35 = k_1**				

تكوّن التنبؤات من تركيز الطاقة الأيضية في الغذاء، بالرغم من أن هذا يتم التعبير عنه كجزء GE \ME (أحياناً يسمى نسبة الطاقة الأيضية) بدلاً من ميجا جول/كجم. ويمكن تحويل نسبة الطاقة الأيضية إلى ميجا جول طاقة أيضية / كجم مادة جافة بواسطة ضربها في 18.4 وهو متوسط الطاقة الكلية في المادة الجافة للغذاء (بالرغم من أن هذا العامل مرتفع جداً للأغذية ذوات المحتوى العالي من الرماد، ومنخفض جداً للأغذية ذوات المحتوى المرتفع من البروتين ومن الدهن).

وتبين قيم الكفاءة في جدول 1.12 عدة نقاط ذكرت في فترة مبكرة (في هذا الفصل والفصل 11). بالرغم من أن K_m و K_1 تختلف حسب نسبة الطاقة الأيضية q_m ، فإن اختلافاتها تكون أقل بكثير من اختلاف K_g . ولوضع هذا بطريقة أخرى فإن الأغذية منخفضة الجودة ($q_m = 0.4$) تكون K_g 50% فقط من K_m، بينما الأغذية عالية الجودة ($q_m = 0.70$) فإن K_g تكون **74** % من K_m .

مثال (أ) التنبؤ بالأداء في أبقار نامية: الآن يمكن توضيح النظام بمثال

نفترض عجلاً مخصياً وزنه 300 كجم يراد تغذيته بعليقة 4.5 كجم من الخرطان (تحتوي 4 كجم مادة جافة) و2.2 كجم ذرة (2 كجم مادة جافة)، وهذا سيوفر الكمية التالية من الطاقة الأيضية :

الغذاء	مادة جافة (كجم/يوم)	طاقة أيضية ميجا جول/كجم مادة جافة	ميجا جول / يوم
خرطان	4.0	8.0	32.0
ذرة	2.0	14.0	**28**
	6.0		**60**

إن تركيز الطاقة الأيضية في المادة الجافة سيصبح 60 / 6 = 10 ميجا جول/كجم

ونسبة الطاقة الأيضية (Metabolizability) ستصبح 10 / 18.4 = 0.54

وعند q_m = 0.54، جدول 12 . 1 تعطي K_m = 0.692 و K_g = 0.427. إذا كانت الاحتياجات اليومية للحفظ (أيض الصيام) للعجل المذكور 23 ميجا جول طاقة صافية ، لذلك فإن احتياجاته للحفظ في صورة طاقة أيضية سيكون

23 / 0.692 = 33 ميجا جول . بناءاً عليه فإن الطاقة الأيضية غير المطلوبة للحفظ سوف تكون 60 - 33 = 27 ميجا جول وهذه الكمية 27 × 0.427 = 11.5 ميجا جول ستحتجز بواسطة الحيوان في صورة طاقة كزيادة في وزنه الحي.

الخطوة النهائية في الحساب هي تحويل الطاقة المحتجزة إلى زيادة في الوزن الحي. بالنسبة لهذا المثال تم افتراض أن محتوى الطاقة في هذه الزيادة هي 15 ميجا جول/كجم، ولذلك سوف تكون الزيادة في الوزن الحي هي:

11.5 / 15 = 0.77 كجم/يوم.

مثال (ب) تكوين عليقة لأبقار نامية:

المثال الأول سُمى " التنبؤ بالأداء " لأن نقطة البداية كانت عليقة محددة والقيمة التي تم التنبؤ بها في النهاية هي أداء الحيوان مُعبر عنه كزيادة في الوزن الحي. ومن ناحية أخرى، كثيراً ما تعمل أنظمة الطاقة يشكل معاكس، لتكوين علائق مطلوبة لمستويات معينة من أداء الحيوان. إذا تم معرفة تركيز الطاقة الأيضية في العليقة مقدماً، كما هو الحال عندما يكون غذاءً وحيداً مثل سيلاج عشبي أو غذاءً كاملاً له نسب ثابتة من السيلاج والمركزات، عندئذ يكون حساب الكمية المطلوبة مباشرةْ تماماً.

وعندما لا يعين تركيز الطاقة الأيضية فلا يوجد جواب وحيد للمسألة، وعليه فإن الحسابات يجب أن تكرر حتى الحصول إجابة مقبولة.

وتكون أجهزة الحاسوب مثالية لتوفير إجابات مكررة ولكن إذا لم يتوفر الحاسوب فمن الممكن استعمال طريقة تقريبية لتكوين عليقة وهذه مبينة في المثال التالي والذي يبدأ في نقطة النهاية من المثال (أ). نفترض عجلاً مخصياً يزن 300 كجم عليه أن ينمو بمعدل 0.77 كجم/يوم على عليقة من 3 كجم خرطان (يعني أقل مما في مثال أ) زائد كمية معروفة من الذرة. الأغذية المفترضة بها نفس تركيزات الطاقة كما في المثال السابق، و تكون المسألة للتنبؤ بكمية الذرة المطلوبة. الخطوة الأولى هي حساب قيمة الطاقة الصافية لأثنين من الأغذية عندما يراد استعمالها لهذه الحالة من تكوين العليقة. لعمل هذا نحتاج لحساب عامل

كفاءة يسمى K_{mp} ، وهو قياس لمتوسط كفاءة الطاقة الأيضية لكل غذاء والتي يمكن أن تستخدم لأداء وظيفة موحدة للبقاء والإنتاج .

الخرطان يحتوي 8 ميجا جول طاقة أيضية/كجم مادة جافة، لذلك

q_m = 8 / 18.4 = 0.435، ومن جدول 1.12 K_m = 0.655 و K_g = 0.345. قيمة K_{mp} سوف تكون متوسطة بين K_m و K_g ويمكن حسابها من الاحتياجات النسبية من الطاقة الصافية للبقاء والإنتاج . الصيغة العامة لـ K_{mp} تكون:

$$\mathbf{K_{mp} = (NE_m + NE_p) / (NE_m / K_m + NE_p / K_p)}$$

وهي للخرطان تكون :

$$\mathbf{K_{mp} = (23 + 11.5) / (23 / 0.655 + 11.5 / 0.345) = 0.504}$$

بالنسبة للذرة

q_m = 0.76 ، K_m = 0.769 ، K_g = 0.599 و K_{mp} = 0.703.

قيمة الطاقة الأيضية للخرطان لهذا الوضع من التوزيع ربما تحسب الآن على أنها 8 × 0.504 = 4.03 ميجا جول/كجم مادة جافة ، وللذرة على أنها 14×0.703 = 9.84 ميجا جول/كجم مادة جافة . لذلك 3 كجم من الخرطان (2.7 كجم مادة جافة) سوف توفر 10.9 ميجا جول طاقة صافية، إذن

34.5 – 10.9 = 23.6 ميجا جول طاقة صافية / يوم يجب توفيرها عن طريق الذرة. بناء على ذلك تكون كمية الذرة المطلوبة 23.6 / 9.84 **=** 2.4 كجم مادة جافة ، أو

2.7 كجم ذرة . إذن تكون العليقة المطلوبة **3** كجم خرطان و**2.7** كجم ذرة في اليوم.

وقبل ترك هذا المثال علينا أن نعيد النظر إلى معادلة حساب K_{mp} **من** K_m و K_g.

كما ذكر سابقاً فإن العامل الرئيسي في الحساب هو التناسب بين الاحتياجات من الطاقة الصافية لغرض الحفظ والاحتياجات من الطاقة الصافية لغرض الإنتاج. إن مصطلح $\mathbf{NE_m}$

$\mathbf{NE_m / (NE_p +)}$ يعرف أحياناً بمستوى إنتاج الحيوان

(The animal production level , APL) في هذا المثال يكون

.1.5 = 23 / (11.5 + 23)

مثال (ج) تكوين عليقة أبقار لبن:

كما لوحظ في الجدول 12. 1 فإن كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية لإنتاج اللبن (K_L) تختلف حسب D \ M. هذا يعني لتكوين عليقة أبقار لبن بأكثر دقة فإنه يجب اتخاذ نوع الحسابات المبينة لأبقار التسمين. ومن ناحية تطبيقية بالإمكان عمل بعض الإيضاحات لأن تركيز الطاقة الأيضية في أغذية أبقار اللبن لا تختلف عادة بمثل ذلك المدى الواسع من الاختلاف الذي عليه في أبقار التسمين، ولذلك فإنه من المعقول افتراض قيم ثابتة لكل من K_L و K_m . إذا تم افتراض أن K_m كانت 0.72 و K_L 0.62 فإن حساب العليقة يصبح مجرد عمليات حسابية بسيطة.

كمثال دعنا نعتبر أن بقرة تزن 500 كجم، تنتج 20 كجم لبن (يحتوي 40 جم دهن / كجم) في اليوم. احتياجات الحفظ للبقرة معروف بأنها 37 ميجا جول طاقة صافية ، إذن 37 \ 0.73 = 51 ميجا جول طاقة صافية / يوم، و يختلف محتوى الطاقة باللبن حسب محتواه من الدهن (انظر الفصل 15)، وبالنسبة للبن به 40 جم دهن / كجم ، تكون 3.13 / 0.62 = 5.05 ميجا جول / كجم. بناءاً على ذلك سوف تكون الاحتياجات الكلية للبقرة هي 51 + (20 × 5.05) = 152 ميجا جول طاقة صافية. إذا كانت D \ M لغذائها 11 ميجا جول مادة جافة فإن الكمية الكلية للمادة الجافة المطلوبة تكون 152 / 11 = 13.8 كجم/يوم.

كثيراً ما تكون حسابات عليقة أبقار اللبن معقدة وذلك نتيجة التغيرات في مخزونات الطاقة. إذا اكتسبت بقرة ما وزناً وخزنت الطاقة كدهن، فإن احتياجاتها تعتبر في شكل ثلاثة مكونات، الحفظ، إنتاج اللبن والتسمين. عكس ذلك إذا فقدت وزناً فإن المخصص يجب أن يوضع للطاقة التي تحولت من مخزونها الدهني إلى إنتاج اللبن والمحافظة على الجسم.

تحسينات إضافية لنظام ARC 1980

Further refinements of the ARC 1980 system

إن كل المكونات الثلاثة للنظام، ومحتوى الطاقة في الغذاء و احتياجات الحيوان من الطاقة ، والقاسم المشترك الرابط بينهما، يمكن أن تعطي أكبر دقة عن طريق إدخال عوامل إضافية. وسنناقش احتياجات الحيوان من الطاقة في أبواب تالية و هنا علينا أن نعتبر التحسينات التي تسمح بتقييمات أكثر دقة لما تتناوله الحيوانات من طاقة واستفادتها من

الطاقة الأيضية. بزيادة تناول الحيوان للغذاء تتناقص نسبة الطاقة الأيضية لطاقة الغذاء. ويمكن أن يعرَّف تناول الغذاء كمستوى من التغذية، وهو المأكول من الطاقة الأيضية نسبة إلى تلك المطلوبة لغرض الحفظ ؛ لذلك ففي المثال (a) ، السابق يكون مستوى التغذية 33 / 60 = 1.82 . (لا حظ أن مستوى التغذية ليس هو نفسه مستوى إنتاج الحيوان بسبب أن الأول تم حسابه بواسطة الطاقة الأيضية والأخير بواسطة الطاقة الصافية).

بالنسبة للأبقار النامية يكون مستوى التغذية الشائع 2 – 2.5 ، ولكن في حالة الأبقار المدرة للَّبن فإنه يرتفع إلى 3 – 4. في نظام ARC ، 1980 الدقيق تزداد الاحتياجات من الطاقة الأيضية للأبقار المدرة للبن بنسبة 1.8 لكل وحدة زيادة في مستوى التغذية أعلى من 1. لذلك ففي حالة بقرة بمستوى تغذية 3 فإن التقييم المبدئي لاحتياجات الطاقة الأيضية سيزداد بمقدار 2 × 1.8 = 3.6 في المائة لتأخذ في الاعتبار تأثيرات زيادة تناول الغذاء على محتوى الطاقة الأيضية في العليقة. و يُعمل بنفس التصحيح للنعاج المدرة للبن ولكن ليس للأنواع الأخرى من المجترات.

وقد تؤدي زيادة معدَّل التغذية أيضا إلى نقص كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية (بمعنى تناقص عوامل k). وتشمل تحسينات النظام تصحيحات في هذا التأثير. مثلاً، يفترض أن k_g لأبقار نامية له قيمته المتكهن بها عندما يكون معدَّل التغذية عند ضعف مستوى الحفظ، ولكن إذا كان مستوى التغذية أكثر من هذا، فإن k_g يتناقص وإذا كان معدَّل التغذية أقل من ضعف مستوى الحفظ ، فإن k_g تزداد. مثلاً لو أن أبقار على غذاء يحتوي 10 ميجا جول طاقة أيضية / كجم من مادة جافة تم تغذيتها عند 2.5 مرة من الحفظ فإن k_g سوف تتناقص من 0.43 إلى 0.39 . ويستخدم نفس التصحيح للحملان النامية.

تحسينات ممكنة لنظام ARC 1980 تم تأييده ولكن لم يتم اتخاذه بشكل عام لتحوير قيم k_g تبعاً لطبيعة الغذاء. ويوضح الجدول 12 .1 أن عوامل k تختلف تبعاً لنسبة الطاقة الأيضية Metabolizability للطاقة الغذائية وكذلك بالوظيفة التي يستخدم فيها الحيوان تلك الطاقة. يوجد أيضا دليل على انه إذا استخدمت الطاقة الأيضية للنمو فإن كفاءة استخدامها تختلف لطبيعة الغذاء . مثلاً ، عندما تحتوى أغذية ما على 11 ميجا جول/كجم مادة جافة وهي مكونة إما من علف عالي الجودة بمفرده أو عشب رديء الجودة بالإضافة إلى مركزات ، فإن العلف الذي يحتوي على مركزات سوف يكون له قيمة k_g حوالي 5 % أعلى من الغذاء المكون من العشب بمفرده وفيما بين الأعلاف هناك دليل بأن قيم k_g تكون أكبر للنموات الأولى (يعني نموات الربيع) لحشائش المناطق المعتدلة مقارنة بالنموات المتأخرة، والتي لها نفس تركيز الطاقة الأيضية، وهي كذلك أعلى لأعلاف المناطق المعتدلة من الاستوائية. ومن ناحية أخرى فإنه من الصعب تصنيف الأغذية إلى فئات (أصناف) بغرض التنبؤ بـ k_g ، وان المعادلة الوحيدة في جدول 12. 1 هي المستعملة في النسخة المعدَّلة الأخيرة من نظام ARC 1980. في تقييمه الحديث لنظام ARC 1980 أشار الفريق البحثي في المملكة المتحدة إلى ما تم استنتاجه مبكراً من أن النظام يعطي تقديرا أقل لاحتياجات الأبقار النامية من الطاقة الأيضية ولكن ليس لأبقار اللبن (أو للأنواع الأخرى من المجترات). لقد أوصى هذا الفريق بأن الاحتياجات من الطاقة الأيضية للأبقار النامية التي تم حسابها بالنظام يجب تعديلها بواسطة عوامل تصحيح وهي في الواقع زيادة الاحتياجات من الطاقة لغرض الإنتاج (يعني ليس للحفظ) بـ 10 – 15 %. إن السبب في التقدير

الأقل غير معروف ؛ والتفسير المحتمل أن نظام ARC 1980 يعطي تقديراً أقل لاحتياجات المجترات لغرض الحفظ (موضوع تم مناقشته في باب 13). الاحتمال الآخر وهو أن التصحيح الإيجابي والمستعمل لقيمة k_g عند المستويات المنخفضة من التغذية يعتبر كبيراً جداً. بالرغم من انه يبدو غير مرغوب إدخال عامل تصحيح اعتباطي لنظام أخر منطقي، فإن من المهم أن النظام يتنبأ وبدقة بمعدلات نمو الحيوان التي يحققها عملياً.

نظم بديلة للطاقة للمجترات

Alternative energy systems for ruminants

في عام 1990 أدخلت اللجنة الاسترالية الدائمة للزراعة مجموعة معايير لتغذية المجترات واشتملت نظام طاقة مؤسس على نظام ARC 1980 .

الفروق بين النظام الاسترالي و ARC يعكس الفروق في نظم الإنتاج الحيواني بين الدولتين. فالنظام الاسترالي معد أساسا لاستخدامه لحيوانات الرعي.

إنه بذلك يمتلك تقديرات معدلة لاحتياجات الحفظ والتي تشتمل على تكاليف طاقة الرعي. ويستخدم النظام كذلك تقديرات معدلة لقيمة k_g لأغذية العلف ، والتي تأخذ في الاعتبار رداءة الاستفادة من الطاقة الأيضية لأعلاف المناطق الاستوائية والنموات المتأخرة في المناطق المعتدلة. ويشتمل النظام كذلك على كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية لنمو الصوف (K_{wool}، 0.18).

أخيراً فإن النظام الاسترالي ليس لديه تصحيحات لقيمة k_g لمستويات التغذية، ولكن هناك تعديل وضعي لاحتياجات الحفظ لجميع أنواع الماشية لأن المأكول الكلي من

الطاقة الأيضية يرتفع فوق مستوى الحفظ ، و يرفع هذا التعديل احتياجات الحفظ بحوالي 10 % عند مستوى ضعف تغذية الحفظ. في عام 1988 أجرت الجمعية الأوربية للإنتاج الحيواني مسحاً لأنظمة التغذية المستخدمة في الأقطار الأوربية . وقد أوضح تقرير أنظمة الطاقة الخاصة بالمجترات (انظر الدراسات الإضافية تحت

Van der Honing and Alderman) أنواعاً مختلفة من الأنظمة المستخدمة في أوربا وليس من الممكن وصفها جميعاً هنا . هولندا ، بلجيكا ، فرنسا ، ألمانيا ، سويسرا ، إيطاليا والنمسا لديها أنظمة ذات ميزات مشتركة وسوف يناقش النظام الهولندي كمثال. تحسب محتويات الغذاء من الطاقة الأيضية من المركبات الغذائية المهضومة ثم تحول إلى قيمة طاقة صافية. ويكون الأساس في هذا التحويل للحيوانات النامية إن مستوى إنتاج الحيوان يفترض أن يكون ثابتاً عند 1.5 ولهذا فإن K_{mp} كما تم شرحها سابقاً في هذا الفصل لها قيمة مفردة لغذاء به تركيز معلوم من الطاقة الأيضية.

لذلك فإن كل غذاء يمكن أن يعطي قيمة مفردة للطاقة الصافية لغرض الحفظ والإنتاج (NE_{mp}) ، ولكن هذا يتم تحويله إلى قيمة مقدرة بوحدة وذلك بتقسيمه على NE_{mp} المفترضة للشعير (6.9 ميجا جول/كجم، أو حوالي 8 ميجا جول/كجم مادة جافة). أما للأبقار المدرة للبن فإن القيمة المماثلة من الطاقة الصافية لغرض الحفظ والإدرار فتحسب بافتراض أن k_L تكون 0.60 عندما GE / ME = 0.57 (يعني عندما D \ M = 10.5 ميجا جول/كجم) وتختلف بحوالي 0.4 لكل وحدة تغير في GE \ ME. مثلاً لو أن D\ M = 11.5 ميجا جول/كجم وان

$0.62 = [(0.57 - 0.62) 0.4]+0.60 = K_L$ ، $0.62 = GE \setminus ME$

و تسمى قيمة الطاقة الصافية في الغذاء لغرض الإدرار

$(NE_L) = 0.62 \times 11.5 = 7.1$ ميجا جول/كجم مادة جافة.

ويكون الحساب معقداً أكثر عن طريق خفض قيمة NE_L المتنبأ بما يعادل 2.5 % لتخصيص مستوى تغذية مرتفع طبيعياً لأبقار اللبن ولتحويل NE_L إلى قيمة مقدرة بوحدة (الشعير مرة أخرى على افتراض انه يحتوي 6.9 ميجا جول طاقة صافية/كجم).

بالإضافة إلى استعمالها للأبقار فإن قيم NE_L تستخدم لتكوين علائق حيوانات اللبن الصغرى (يعني عجلات يتم تنشئتها كبدائل قطيع حلاب). بسبب ذلك فإن بساطة الافتراضات المستخدمة في المخطط الهولندي لحساب قيم الطاقة الصافية في الأغذية هي أن (a) للحيوانات النامية، $APL = 1.5$، وان (b) للعجلات النامية

$K_L = K_{mp}$. الافتراض الثالث والذي لم يكن منصوص عليه ولكنه مفهوم ضمنياً في النظام أن $K_L = K_m$. تكون كل الثلاثة عرضة لإدخال عدم الدقة ويتم الأخذ في الاعتبار تعديل احتياجات الحيوانات من الطاقة الصافية. مثلاً ، فيما يتعلق بالافتراض (b) أعلاه لقد تم تقدير أن العجلات النامية ببطء (لذلك فهي تستعمل معظم الطاقة المتناولة لغرض الحفظ) ، K_L تكون تقدير أقل لـ K_{mp} . بناءاً عليه فإن الاحتياجات من الطاقة الصافية للعجلات النامية ببطء انخفضت ولتلك النامية بسرعة ازدادت وذلك لحذف التحيزات في تقدير قيم الطاقة الصافية لأغذيتها. إن نظم الطاقة التي جمعت مع النظام الهولندي تكون مشابهة له من حيث المبدأ ولكن تختلف في التفاصيل. لذلك فإن قيم الطاقة الأيضية

للأغذية قد يتم حسابها بطرق مختلفة، وقد تستخدم تعديلات مختلفة لمستوى التغذية والوحدات المستخدمة قد تكون ميجا جول بدلاً من قيم مقدرة بوحدات . وهكذا ففي سويسرا فإن الوحدات هي ميجا جول من الطاقة الصافية .

إن لدى أقطار عديدة في اسكندنافيا نظماً للطاقة الصافية وهي مبنية على نظام مكافئ النشا لكيلنر ولكنها الآن تستخدم وحدات الغذاء الاسكنديناقية (Scandinvian geed units) وهذا في (النرويج وفنلندا) أو وحدات التسمين الغذائية (Fattening feed units) وهذا في الدينمارك. من ناحية أخرى تستخدم السويد نظام الطاقة الأيضية بعد استعمال نظام مجموع العناصر الغذائية المهضومة (TDN) لعدة سنوات انتقلت الولايات المتحدة إلى نظم الطاقة الصافية لأبقار اللحم واللبن بالنسبة لأبقار اللحم فإن الأغذية تعطي قيمتين للطاقة الصافية للحفظ (NE_m) والزيادة في الوزن NE_{gain}، و تحسب هذه من محتويات الطاقة الأيضية لكل غذاء . وتعتبر كل مجموعات القيم أدنى من تلك المستنتجة عن طريق نظام المملكة المتحدة ، ويكون الفرق كبيراً وخصوصاً للأغذية المنخفضة في D \ M. ويتم حساب قيم الطاقة الصافية للإدرار (NE_L) من TDN ، طاقة أيضية أو مهضومة بواسطة معادلة مشابهة لتلك المستخدمة في النظام الهولندي . مثلاً أغذية تحتوي 10 أو 12 ميجا جول طاقة أيضية / كجم مادة جافة تحسب على أنها تحتوي 6.0 و 7.1 ميجا جول طاقة صافية للإدرار في النظام الهولندي. ويتم التعبير عن الاحتياجات من الطاقة الصافية للمحافظة على الجسم، ولإنتاج اللبن في شكل NE_L كما

هو الحال في النظام الهولندي والنظم الأوربية المرتبطة. ولقد تبنى النظام الأمريكي للطاقة الصافية للأدوار في إسرائيل والمجر.

نظم الطاقة للمجترات : تأمل وتوقع

Energy systems for ruminants: retrospect and prospect

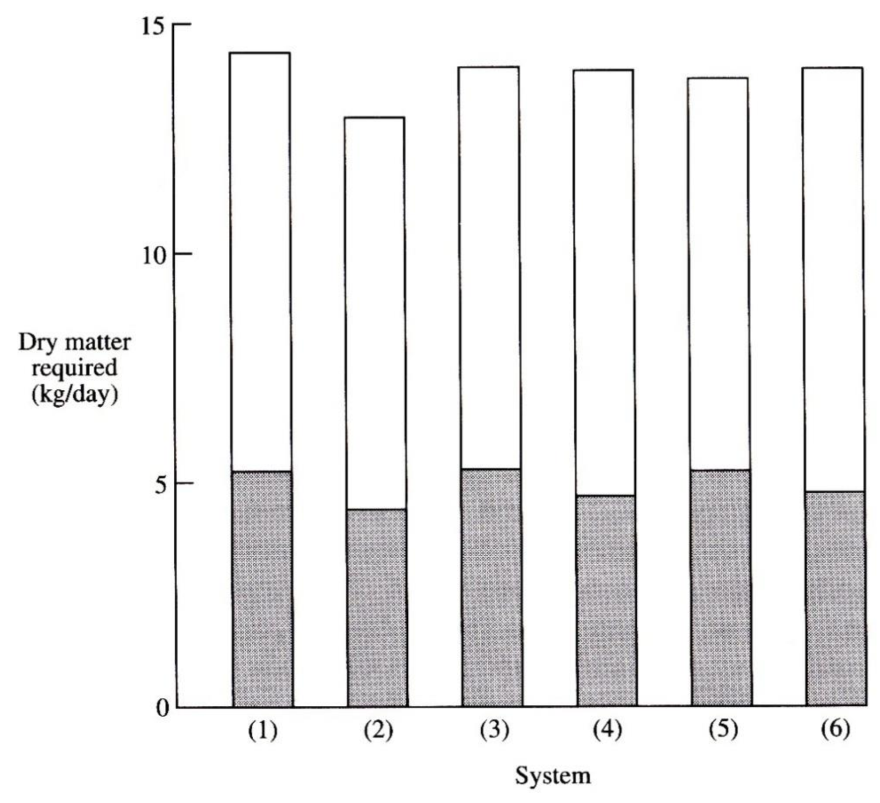
لقد تم نشر الطبعة الأولى من هذا الكتاب في وقت (1966) كانت فيه النظم القديمة للطاقة الخاصة بالمجترات مثل نظام مكافئ النشا لكيلنر في حالة إعادة تقييم على ضوء بيانات مقياس السعر المكتسبة حديثاً. وأعيدت في جمهورية ألمانيا الديمقراطية السابقة صياغة نظام كيلنر وقد تم حديثاً في بريطانيا إدخال نظام جديد عن طريق مجلس البحوث الزراعية ARC. وكان الأمل في ذلك الوقت أن المعلومات الحديثة في استغلال الطاقة ستقدم نظماً أكثر دقة والتي ستكون أقل تعقيداً وبذلك أكثر قبولاً للاستعمال الدولي.

وفي حالة أن هذا الأمل لن يتحقق كلياً ، فقد تتحقق دقة كبرى ولكن على حساب تعقيد أكبر وزيادة في عدد النظم المستخدمة.

إن نظم الطاقة الخاصة بالمجترات والتي تحسنت أكثر منذ 1966 هي تلك الخاصة بأبقار اللبن.

كما سيقدر القارئ ، فان نظم الطاقة يمكن أن تلائم أبقار اللبن أفضل من ملاءمتها للأبقار النامية والتسمين (أو الأغنام). وتختلف كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية اختلافاً بسيطاً في الأبقار عنه في العجول المخصية ويكون محتوى الطاقة في المنتج (اللبن) اقل اختلافاً وأكثر توقعاً مما هو في حالة الزيادة في الوزن الحي. ولقد تمت مقارنة

النظم المختلفة لأبقار اللبن في شكل 1.12 ، وذلك بأخذ نموذج غذاء واستخدام طرق عمل كل نظام للتنبؤ أولاً بقيمة الطاقة في الغذاء وثانياً بالكميات المطلوبة لمستويات إنتاج معينة ، ولعلّ الاستنتاج الظاهر هو أن النظم الخاصة بأبقار اللبن لا تختلف كثيراً.



بيان للنظم : **1** – طاقة أيضية (المملكة المتحدة). **2** – وحدات الغذاء الاسكندنافية (الدانيمارك). **3** – مجموع العناصر الغذائية المهضومة (الولايات المتحدة الأمريكية). **4** – وحدات طاقة الغذاء (ألمانيا الشرقية سابقاً). **5** – الطاقة الصافية للإدرار (الولايات المتحدة الأمريكية). **6** – وحدات غذاء للإدرار (هولندا).

شكل 1.12 :مقارنة نظم الطاقة للتنبؤ باحتياجات أبقار لبن على أغذية قياسية تحتوي أجزاء متساوية من الأعلاف المالئة والمركزات. احتياجات الحفظ فقط موضحة بمساحات مظللة، للحفظ زائد إنتاج 20 كجم لبن بواسطة القطع المستطيلة كاملة.

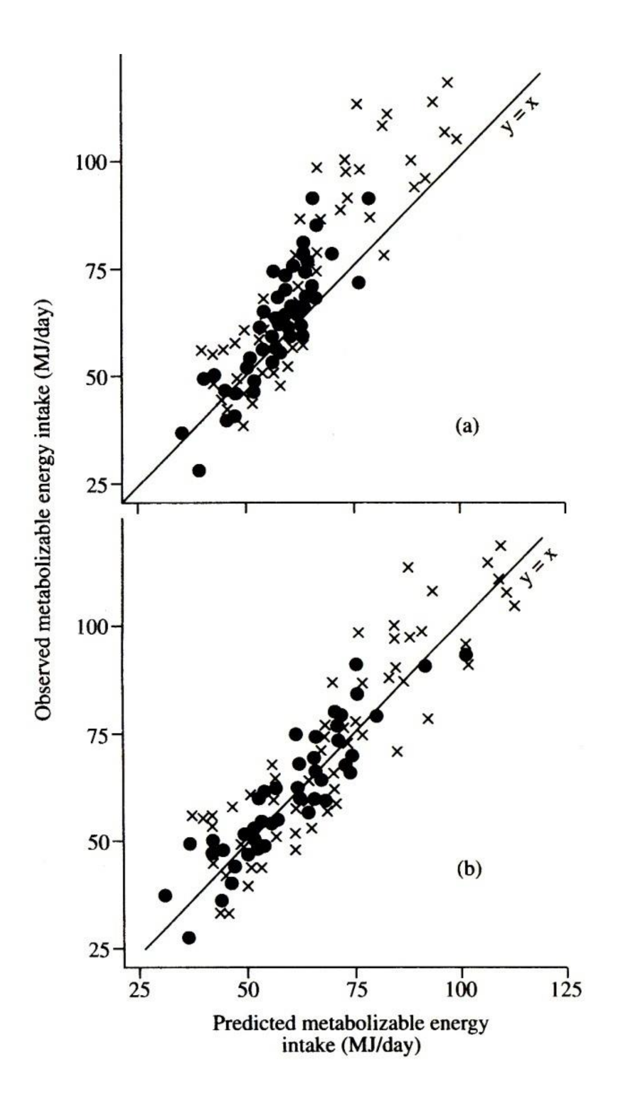
(After Steg R and Van der Honing Y 1979 *Report of the Dutch Institute for Cattle Feeding Research Hoorn , No 49*.)

شكل 2.12 يوضح طرقاً مختلفة لمقارنة نظم الطاقة، وفي هذه الحالة لأبقار اللحم. سلسلة بيانات مدخلة ومخرجة لأبقار لحم غذيت أساساً على أعشاب، لتوفر قاعدة لمقارنة

المردود الواقعي من المتنبأ به من المدخلات بواسطة استخدام النظامين. ولعلّ الاستنتاج الظاهر أن نظام الطاقة الصافية للولايات المتحدة قد تنبأ بأداء الأبقار بدقة أكثر من نسخة 1965 لنظام مجلس البحوث الزراعية بالمملكة المتحدة.

مع ذلك يجب الاعتراف بأن مقارنات الأنواع الموضحة أعلاه نادراً ما تكون كافية نهائياً لأخصائي التغذية في بلد ما لاستبعاد نظامهم الخاص وتبني ما هو في بلد أخر بالكامل.

ومن المحتمل أن تصبح في المستقبل أكثر تعقيداً بتحوير نظم الطاقة لإدخال نتائج جديدة. وحيث أن الحاجة لبساطة الحساب تناقصت عن طريق زيادة توفر أجهزة الحاسوب، فربما تصبح نظم الطاقة أجزاء لأكبر نماذج رياضية للاحتياجات من العناصر الغذائية ، والتي سوف تصبح قادرة على التعامل في نفس الوقت مع الطاقة والأحماض الأمينية ، والفيتامينات و المعادن (ومع التداخل فيما بينها). وتميل النظم المعقدة إلى إخفاء المبادئ التي بنيت عليها. لذلك فعلى طلبة تغذية الحيوان أن ينتبهوا وبدرجة خاصة إلى قواعد أيض الطاقة المختصرة في الفصل السابق، وفي نفس الوقت يجب أن يعودوا أنفسهم على نظم الطاقة المستخدمة حالياً في بلدانهم.



شكل 12 .2 مقارنة تناول الطاقة الأيضية الملاحظة في أبقار لحم بالمتناول المتوقع من أداء الحيوان عن طريق نظامين : (a) نظام الطاقة الصافية لمجلس البحوث الزراعية بالمملكة المتحدة ؛ (b) نظام الطاقة الصافية للمجلس القومي للبحوث بالولايات المتحدة.

(From Joyce JP et al. 1975 N.Z.J. Agric. Res. , 18 , 295.)

نظم الطاقة للخنازير والدواجن Energy Systems For Pigs and Poultry

تعتبر نظم الطاقة للخنازير والدواجن أقل تعقيداً من تلك الخاصة بالمجترات فيما يتعلق بكل من الاستنتاج والتطبيق. ولعلّ أحد الأسباب في هذا أن الخنازير والدواجن تهضم السيليولوز على نطاق أقل نسبياً فهي مقيدة على مدى من أغذية تتباين قليلاً في تركيز الطاقة الأيضية مثلاً. كذلك ففي الخنازير والدواجن يكون المعتقد عموماً أن الاستفادة من الطاقة الأيضية تختلف على نطاق صغير نسبياً من غذاء إلى أخر.

السبب الإضافي هو أن الخنازير والدواجن ليست مثل المجترات من حيث أن تكوين العليقة لمستوى معين من الإنتاج يكون أقل شيوعاً. الدواجن بدرجة خاصة، تتغذى عادة حسب الشهية على أمل أنها سوف تحقق معدلات عليا من إنتاج اللحم أو البيض. برغم ذلك فإن تركيز الطاقة في الأطعمة والأغذية تظل ميزة مهمة للدواجن (والخنازير) المغذاة حسب الشهية، لأن هذه الحيوانات تميل إلى تعديل ما تتناوله لتوفير مقدار ثابت من الطاقة (انظر الفصل 17). إذا زاد تركيز الطاقة في أغذيتها (مثلاً عند إضافة الدهن) فمن المحتمل أن الحيوانات غير المجترة تخفض ما تتناوله وإذا لم يتم تنظيم تركيز الأحماض الأمينية والعناصر الغذائية الأخرى فإنها تكون عرضة لأن تعاني من النقص فيها. عند تكوين العلائق عملياً للخنازير والدواجن فإن أحد مكونات الطاقة والمسمى تركيز الطاقة في الغذاء يكون مهماً جداً، بينما يعتبر المكون الأخر، احتياجات الحيوانات من الطاقة أقل أهمية.

الخنازير Pigs

لقد تم إدخال نظام الطاقة الصافية للخنازير في وقت نظام مكافئ النشا للمجترات بواسطة G. Flingerling وهو خليفة كيلنر وذلك في محطة بحوث Möckern وقد استخدمت نسخ منقحة من هذا أو من نظم بديلة للطاقة الصافية في عدد قليل من الدول الأوربية حتى يومنا هذا. ومن ناحية أخرى فإن دولاً كثيرة أسست نظماً الطاقة للخنازير إما على الطاقة المهضومة أو الأيضية. ويعتمد النظام المستخدم في المملكة المتحدة على الطاقة المهضومة، ، بالرغم من أن الطاقة الأيضية هو المقياس الأكثر شيوعاً.

وهناك اقتناع بأن القياسات مرتبطة جداً (مثلا ME = 0.96 DE)، بالرغم من أنه للأغذية الليفية التي تنتج غاز الميثان في المعي الخلفي عند الخنزير يكون العامل 0.90 بدلاً من 0.96. وتستخدم الطاقة الأيضية بواسطة الخنازير بكفاءة ثابتة إلى حد ما وذلك لأي وظيفة مستقلة. مثلا وكما هو موضح في الجدول 11 . 6، فإن K_g لعدة أغذية خاصة بالخنزير تكون مقاربة إلى 0.71 ، وفي بعض من معظم النسخ الحديثة لنظم الطاقة الخاصة بالخنازير، ويؤخذ بعين الاعتبار الفرق بين K_p و K_f . وقد أصبح هذا الفرق مهماً في الخنازير بسبب سياسة التربية في انتخاب الخنازير التي ترسب دهناً أقل وبروتيناً أكثر.

لهذا فإن قيماً مستقلة لـ K_p (0.6) و K_f (0.8) وردت في منشور اللجنة الفنية) The technical committee on Responces to nutrients (والاحتياجات من العناصر الغذائية لإناث وذكور الخنازير (انظر الدراسات الإضافية).

وقد وردت في هذا وفي المنشورات الأخرى احتياجات الحفظ في شكل طاقة أيضية، والتي تتضمن قيمة ثابتة لـ K_m. بالرغم من إدراك أن كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية يختلف من أحد وظائف الحيوان إلى أخرى، فإنها لا تعتبر مختلفة كثيراً بين غذاء وأخر. ومن ناحية ثانية تتخذ الأغذية الليفية استثناءات، حيث النواتج النهائية للهضم ألتخمري

تستخدم بكفاءة أقل في الخنزير (تماماً كما هي في المجترات). إن مجلس البحوث الزراعية بالمملكة المتحدة في منشوره لعام 1981 (احتياجات الخنازير من العناصر الغذائية) قدّم اقتراحاً بأن الميثان والحرارة المفقودة المصاحبة لأيض الأحماض الدهنية الطيارة مع بعضها تخفض قيمة الطاقة الصافية للطاقة المتخمرة القابلة للهضم إلى حد ما مقداره ليس أكثر من ثلثي تلك الطاقة المهضومة الناتجة من امتصاص العناصر الغذائية من الأمعاء الدقيقة في نظام الطاقة المستخدمة للخنازير في ألمانيا وتتناقص قيم الطاقة الأيضية في الأغذية إذا كانت ذات محتوي عالٍ من الألياف.

الدواجن Poultry

تم تحديد قيم الطاقة الصافية لأغذية الدواجن منذ 40 – 50 سنة مضت في الولايات المتحدة بواسطة G.S. Fraps الذي استخدم طريقة الذبح المقارن لقياس الطاقة المحتجزة في الدجاج الصغير، وقد سميت المقادير المتحصل عليها قيم الطاقة الإنتاجية " Productive energy values " وذلك للتأكيد على أنها كانت قيم الطاقة الصافية للنمو وليست للحفظ، كذلك اقتراح Fraps طرق للتنبؤ بقيم الطاقة الإنتاجية للأغذية من عناصرها الغذائية الكلية أو القابلة للهضم.

إن قيم Fraps للطاقة الإنتاجية لم تطبق على نطاق واسع وقد استعملت الطاقة الأيضية في معظم الدول وذلك لتعبر عن قيمة الطاقة في أغذية الدواجن. كما هو الحال في أغذية الخنزير فقد كان الاقتناع بأن الطاقة الأيضية في أغذية الدواجن قد استخدمت بكفاءة ثابتة إلى حد ما.

إن التوسع الحديث في دراسات قياس السعرية في الدواجن أعطت نتائج لم تدعم هذا البرهان ؛ وخصوصاً الطاقة الأيضية المتوفرة بواسطة الدهن الغذائي اتضح بأنها مستخدمة بكفاءة أكثر من تلك التي تزودها الكربوهيدرات. وبناءاً عليه فإن هناك مقترحات إضافية للطاقة الصافية للدواجن، ولكن هذه لم يتم تبنيها. وتقاس الطاقة الأيضية بسهولة جداً في الدواجن، نظراً لأن الزرق والبول يتم التخلص منها مجتمعة مع بعضها، وهذا بدون شك عامل قوي في صالح احتفاظها في نظم الطاقة للدواجن.

التنبؤ بقيمة الطاقة في الأغذية

Predicting the energy value of foods

إن دقة أي نظام طاقة تعتمد على صحة تقييم محتوى الطاقة في الأغذية المفردة أو الأغذية. مثلاً محتوى الطاقة الأيضية في سيلاج العشب قد يتفاوت ربما من 8 إلى 12 ميجا جول/كجم مادة جافة تبعاً لنوع العشب الذي أعد منه والممارسات المطبقة في عمل السيلاج. المزارع الراغب في تقييم سيلاجه وقد يستخدم كتاب مرجعي لتعيين نوعه ليتخذ قيمة مناسبة فيما يتعلق بالميجا جول .طاقة أيضية / كجم مادة جافة (انظر ملحق جدول 1 بالنسبة للأمثلة). من ناحية أخرى يمكن إجراء التقييم بدقة أكثر إذا تم تعريض السيلاج إلى تحليل كيميائي. ويكمن أن تستخدم البيانات التحليلية أما لتصنيف السيلاج بدقة أكثر، أو على نحو أفضل ومطابقتها في المعادلات المقترحة للتنبؤ بقيمة الطاقة من التركيب الكيميائي.

فمثلاً المعادلة التالية تمكن من التنبؤ بقيمة الطاقة الأيضية في السيلاج من محتوياته من ألياف المنظف الحمضي المحور (MADF) جم/كجم مادة جافة.

$$\mathbf{ME\ (\ MJ\ /\ K_g\ DM\ ) = 15.33 - 0.0152\ MADF}$$

وكبديل للتحليل الكيميائي يكون تقييم القيمة الهضمية digestibility بواسطة التخمر في المعمل *in vitro* والتنبؤ بقيمة الطاقة الأيضية من محتوى المادة العضوية القابلة للهضم من الغذاء . ففي حالة الأعلاف الخشنة المعطاة للمجترات فإن الصيغة البسيطة المستعملة عموماً هي :

$$\mathbf{ME\ (\ MJ\ /\ K_g\ DM\ ) = 0.016\ DOMD}$$

حيث DOMD = جم مادة عضوية قابلة للهضم / كجم مادة جافة.

طرق جديدة للتحليل وخصوصاً مطيافية معامل انعكاس الأشعة دون الحمراء (NIRR) فهي توفر فرص التنبؤ بالقيمة الهضمية والطاقة الأيضية للأغذية في المعمل. ويجب التأكيد على أن كل طرق المعمل للتنبؤ بقيمة الطاقة تتوقف على توفر بيانات موثوق بها تم الحصول عليها بواسطة إجراء تجارب أيض على الحيوان. إنه تقدير منظم لعدة عينات غذائية في تجارب توفر معادلات انحدار تستخدم للتنبؤ بقيم الطاقة من قياسات المعمل.

وفي حالة حبوب الغلال والأغذية المركزة الأخرى يكون التنبؤ بقيمة الطاقة أسهل مما في حالة السيلاج لأن هذه الأغذية أقل تغيراً في التركيب الكيميائي ، لذلك من الممكن

استعارة قيماً مناسبة من الجداول، مع ذلك فإن هناك أسباباً تتطلب التنبؤ بقيم الطاقة في المركزات من تركيبها الكيميائي أو من ميزات أخرى.

مثلاً أدخلت العديد من الدول تشريعاً يفرض على أصحاب مصانع الأعلاف المركبة التأكيد على إعلان قيمة الطاقة (نموذجياً، قيمة الطاقة الأيضية) بمنتجاتها، والحاجة إلى طريقة بسيطة للكشف على تلك القيم. في المملكة المتحدة استخدمت المعادلات التالية للتنبؤ بمحتوى الطاقة في الأعلاف المركبة الخاصة بالدواجن، الخنازير والمجترات:

الدواجن : طاقة أيضية (ميجا جول/كجم غذاء) =

SUG 0.01301 + STA 0.01169 + OIL 0.03431 + CP 0.01551

الخنازير : طاقة مهضومة (ميجا جول/كجم مادة جافة) =

NDF 0.0140 – ASH 0.0331 – OIL 0.0158 + CP 0.0079 + 17.47

المجترات: طاقة أيضية (ميجا جول/كجم مادة جافة) =

OIL 0.025 + DIGY 0.014

حيث : CP = بروتين خام ؛ OIL = دهن مستخلص بمذيب عضوي بعد تحليل حمضي؛ STA = نشا ؛ SUG = سكريات كلية ؛ معبر عنها في شكل سكروز

NDF = ألياف المنظف المتعادل، تم تحديدها بواسطة طريقة تشمل على المعاملة بالاميليز لإزالة النشا.

DIGY = القيمة الهضمية قدرت في المعمل بواسطة المعاملة بالمنظف المتعادل والتحضين مع أنزيمات سيليوليز وجامانيز cellulase and gamanase، وقد تم التعبير عن كل القياسات

السابقة في شكل جم/كجم غذاء (أغذية الدواجن) أو جم /كجم مادة جافة (أغذية الخنزير والمجترات).

لاحظ أن المعادلات الثلاث تختلف في المبدأ . معادلة الدواجن ترجع منطقياً للعوامل المشتقة إلى كل مكون غذائي ؛ مثلاً عامل الزيت يشير إلى أن 0.03431 /0.0393 = 0.87 من الطاقة الكلية في دهون أغذية الدواجن تكون قابلة للأيض. تبدأ معادلة الخنزير بقيمة ثابتة ويتم تعديلها نحو الأعلى بمحتوى البروتين والزيت في الغذاء ونحو الأسفل مع الرماد والألياف. تؤسس معادلة المجترات تقييماً بيولوجياً وليس كيميائياً للغذاء ولكنها تتضمن تعديلاً فيما يخص الزيت.

مراجع الفصل الثاني عشر

1. Agricultural Research Council 1980 *Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux.
2. Agricultural Research Council 1981 *Nutrient Requirements of Pigs*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux.
3. Agricultural and Food Research Council 1990 *Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. 4, Nutrient Requirements of Sows and Boars*. Wallingford, CAB International (see also *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B*, **60**: 383 – 406).
4. Agricultural and Food Research Council 1990 *Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. 5, Nutrient Requirements of Ruminant Animals: Energy*. Wallingford, CAB International (see also *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B*, **60:**729 – 804).
5. Alderman G 1985 Prediction of the energy value of compound feeds. In Haresign W and Cole D L A (eds) *Recent Advances in Animal Nutrition*- 1985. London, Butterworths.
6. Henry Y, Vogt, H and Zoiopoulos P E 1988 Feed evaluation and nutritional requirements: pigs and poultry. *Livestock Production Science*, **19**: 299-354.
7. Morris T R and Freeman B M (eds) 1974 *Energy Requirements of Poultry*. Poultry Science Symposium No. 9, British Poultry Science Ltd.
8. National Academy of Sciences – National Research Council 1989 *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 6th rev. edn. Washington, National Research Council (see also the companion publications for other domestic animals).
9. Nehring K and Haenlein G F W 1973 Feeding evaluation and ration calculation based on net energy. *Journal of Animal Science*, **36**: 949.
10. Van der Honing Y and Alderman G 1988 Feed evaluation and nutritional requirements: ruminants. *Livestock Production Science*, **19**:217-278.
11. Van Es A J H 1978 Feed evaluation for ruminants. 1. The systems in use from May 1977 onwards in the Netherlands. *Livestock Production Science*, **5**:331

12. Wiseman J and Cole D J A (eds) 1990 *Feedstuff Evaluation*. London, Butterworths

Historical references

1. Armsby H P 1917 *The Nutrition of Farm Animals*. New York, Macmillan.
2. Kellner O 1926 *The Scientific Feeding of Farm Animals*, 2nd edn (translated by W Goodwin). London, Duckworth.

الفصل الثالث عشر

تقييم الأغذية

د . البروتين

د . البروتين D. protein

تتكون البروتينات من أحماض أمينيه تمت الإشارة إلى تقسيمها إلى ضرورية وغير ضرورية وذلك في الفصل 4 و في الفصل 9 تحت جزء تخليق البروتين. ولكي يستخدم الغذاء عند أعلى مستوى من الكفاءة يجب أن يتحصل الحيوان على كميات كافية من كل الأحماض الأمينية الضرورية وغير الضرورية لمواجهة احتياجاته الأيضية. وتتحصل الحيوانات ذوات المعدة البسيطة مثل الخنازير والدواجن على هذه الأحماض من تحلل بروتينات الغذاء أثناء الهضم والامتصاص. ويكون الوضع معقداً في حالة الحيوانات المجترة.

يحدث هدم و تخليق كبيرين للبروتين في الكرش، وقد تختلف المواد التي تصبح أخيراً ميسرة للهضم من قبل الحيوان بشكل كبير مما وجد أصلاً في الغذاء لذلك من الضروري أن تكون هناك مقترحات مختلفة لتقييم مصادر البروتين للحيوانات المجترة وغير المجترة.

في الماضي، يقيم الغذاء كمصدر من البروتين بواسطة طرق سهلة وبسيطة إلى حد ما وهي لا تأخذ في الحساب نوع الحيوان الذي يعد له الغذاء. ولا تزال بعض هذه الطرق تستخدم أحياناً. وسوف يتم التطرق لها أولاً ومن ثم ستناقش الطرق الأكثر دقة في تقييم جودة البروتين لحيوانات المعدة البسيطة والحيوانات المجترة بشكل منفصل.

البروتين الخام Crude Protein (CP)

إن النيتروجين المطلوب من قبل الحيوان يستخدم معظمه لتخليق البروتين. يوجد أيضا معظم نيتروجين الغذاء في صورة بروتين ويكون من الملائم وبصورة عامة تقريباً أن تصاغ الاحتياجات من النيتروجين ووضعية النيتروجين في الغذاء بمصطلح البروتين. من ناحية كيميائية يتم حساب محتوى الغذاء من البروتين من محتواه من النيتروجين المحدد بواسطة طريقة تقنية كلدال " Kjeldahl " التقليدية، ولعلّ هذه تعطي قيمة تشمل معظم صور النيتروجين بالرغم من أن النيتريت " nitrite " والنيترات " nitrate " و مركبات نيتروجينية حلقية معينة تتطلب تقنيات خاصة لاستخلاصها. وقد عُمل افتراضان لحساب محتوى البروتين من النيتروجين، أولاً أن كل نيتروجين الغذاء موجود في صورة بروتين، ثانياً أن كل البروتين يحتوي 160 جم نيتروجين/كجم. ومن ذلك يمكن التعبير عن محتوى البروتين في الغذاء كبروتين خام ويحسب كما يلي:

بروتين خام (جم/كجم) = جم نيتروجين × 1000 ÷ 160 أو أكثر عمومية

بروتين خام (جم/كجم) = جم نيتروجين/كجم × 6.25.

إنّ كل الافتراضات غير صحيحة، فبروتينات الأغذية المختلفة لها محتويات مختلفة من النيتروجين ولهذا يجب استخدام عوامل مختلفة عند تحويل النيتروجين إلى بروتين للأغذية الفردية. ويوضح الجدول 1.13 محتويات النيتروجين لعدد من البروتينات الشائعة مع عوامل تحويل النيتروجين الملائمة.

جدول 1.13 عوامل تحويل النيتروجين إلى البروتين الخام

(From Jones DB 1931 USDA Circ. 183)

بروتين الغذاء	النيتروجين (جم/كجم)	عامل التحويل
بذرة القطن	**188.7**	**5.30**
فول الصويا	**175.1**	**5.71**
الشعير	**171.5**	**5.83**
الذرة	**160.0**	**6.25**
الشوفان (خافور)	**171.5**	**5.83**
القمح	**171.5**	**5.83**
البيض	**160.0**	**6.25**
اللحم	**160.0**	**6.25**
اللبن	**156.8**	**6.38**

بالرغم من انه غير صحيح أساساً إلا أن استخدام عامل تحويل متوسط (6.25) لكل البروتينات له مبررات عملية، نظراً لأن احتياجات البروتين لحيوانات المزرعة المعبر عنها بالنيتروجين × 6.25 هي احتياجات النيتروجين وليس البروتين بذاته. لذلك فإن نشر جداول محتويات البروتين المبنية على عوامل تحويل حقيقية يمكن أن تؤدي إلى إرباك كبير وعدم كفاءة في التغذية. إن الافتراض بأن جميع بروتين الغذاء موجود كبروتين هو أيضاً غير صحيح لأن عدة مركبات نيتروجينية بسيطة مثل الأميدات amides، أحماض أمينيه، جلايكوسيدات glycosides، الكالويدات alkaloids، أملاح أمونيوم، والليبيدات المركبة قد توجد أيضاً (الفصل 4). من ناحية كمية فإن الأميدات والأحماض الأمينية تكون مهمة وهذه موجودة بكميات كبيرة في أغذية قليلة فقط مثل الحشائش الصغيرة (young grass) والسيلاج وجذور المحاصيل غير الناضجة. ويكون حوالي 95 % من نيتروجين معظم

البذور الناضجة موجوداً في صورة بروتين حقيقي، بينما الأوراق والسوق stems والجذور والأعضاء المخزنة مثل البطاطس والجزر بها 80 إلى 90 ، 60 ، 30 إلى 40 % في هذه الصورة، على التوالي.

وتسود في أغذية الخنازير والدواجن حبوب الغلال والبذور الزيتية وهي تحتوي قليلاً من النيتروجين غير البروتيني، لهذا و لا توجد فائدة من ناحية عملية من محاولة التمييز بين نوعي النيتروجين خاصة بأن نسبة كبيرة من الجزء غير البروتيني والأحماض الأمينية والأميدات قد تستغل في تخليق الأحماض الأمينية بواسطة الحيوان. وبعيدا عن التقليد السائد، يبدو أن هناك القليل من المبررات في استعمال مصطلح البروتين الخام في التغذية. إن التعبير عن كل من احتياجات الحيوان وحالة الغذاء بمصطلحات النيتروجين ستصبح أكثر واقعية وتتجنب الإرباك.

البروتين الحقيقي True protein (TP)

عندما يراد تحديد البروتين الحقيقي، قد يتم فصله من المركبات النيتروجينية غير البروتينية بواسطة الترسيب مع هيدروكسيد النحاس أو في بعض مواد النبات ويتم ذلك بواسطة التجلط بالحرارة. يرشح البروتين بعد ذلك ويعرَّض المتبقي لتحديده بواسطة كلدال.

البروتين الخام القابل للهضم Digestible Crude Protein (DCP)

توفر قيمة البروتين الخام قياساً للنيتروجين الموجود في الغذاء ولكنها تعطي دليل ضعيف عن قيمته للحيوان. ويجب قبل أن يصبح الغذاء متاحاً للحيوان أن يخضع للهضم

وأثناء ذلك يتفكك إلى مواد أبسط تمتص في الجسم. وقد يُحدد البروتين القابل للهضم في الغذاء بواسطة تجارب الهضم " Digestibility trials " والتي يقاس فيها النيتروجين المأكول ومعه النيتروجين الخارج في الروث. كما وصف في الفصل 10. معاملات الهضم Digestibility Coefficients مبنية على تجميع وتحليل مواد الهضم من نهاية اللفائفي " illum " اعتبرت عامة بأنها تعطي قياساً للنيتروجين الممتص بدقة أكثر من تلك المبنية على تجميع الروث المألوف كثيراً. إن التجميع من اللفائفي تتجاهل القناة السفلى كمصدر للأخطاء، وقد تم تبرير ذلك نظراً لأن الامتصاص من الأمعاء الغليظة يمثل القليل أو لا يمثل إسهاماً لحالة البروتين في الحيوان. علاوة على ذلك ثبت أن هناك ارتباطاً عالياً بين الزيادة اليومية في الوزن الحي في الخنازير والهضم في اللفائفي عنها في حال تجميع الروث (r = 0.75 مقابل 0.34)، وخاصة بمصادر بروتين غير معتادة. لقد افترض أن الفرق بين كميات النيتروجين في الغذاء والروث أو مواد الهضم تمثل الكمية الممتصة في صورة قابلة للاستفادة بواسطة الجسم وان كل النيتروجين الذي يظهر في الروث يكون من أصل غذائي . وعلى ضوء مصير أمونيا الكرش (الفصل 8) ، ووجود نيتروجين في الروث من مصدر أيضي (الفصل 10) وهذه الافتراضات لا يمكن تجاهلها.

إن القيم التي تم الحصول عليها تكون للبروتين القابل للهضم ظاهرياً. ويجب عند تحديد الهضم الحقيقي الأخذ في الاعتبار مساهمة النيتروجين الداخلي في مواد الهضم. ويشتق النيتروجين الداخلي من مواد غير غذائية تدخل الأمعاء، مثل اللعاب والصفراء والإفرازات المعدية والبنكرياسية والخلايا المنسلخة من الغشاء المخاطي للقناة الهضمية. ويمثل قياسه

صعوبات كبيرة وقد تختلف النتيجة كثيراً باختلاف التقنيات المطبقة. حتى باستعمال اثنين من التقنيات الحديثة المفضلة والتي تعتمد على " Homoarginine " وباستخدام N^{15} كعلامة للبروتين الغذائي اتضح أن هناك متوسطاً في الفروق حوالي 5 % في قيم الهضم الحقيقية مشتقة منها. بعض القيم التي تم الحصول عليها باستخدام N^{15} معطاة في جدول 2.13.

بالإضافة إلى اختلاف التقنية المستخدمة فإن حجم جزء النيتروجين الداخلي يتأثر بواسطة نوع وكمية السكريات العديدة غير النشوية في الغذاء وحالة البروتين لحيوانات التجربة. ويعتقد بعض الباحثين أن الإفرازات الداخلية مكوّن من القيمة الصافية للغذاء وعليه يجب أن يوضع نيتروجين مواد الهضم digesta مقابل النيتروجين الغذائي مهما كان مصدره . ويعتبر البعض الآخر أن الهضم بمعناه هو ميزة خاصة للغذاء وان النيتروجين الداخلي يجب استبعاده أثناء حسابها.

إن هضم النيتروجين الداخلي للغذاء الكامل يجب أن يحسب جمعياً additively من قيم هضم بروتينات الغذاء التي تكوّن الوجبة. بسبب الاختلافات في قيم النيتروجين الداخلي فإن أي قيم مقترحة لتحويل قيم الهضم الظاهرية إلى حقيقية ستكون صحتها غير مؤكدة وكذلك المعاملات الناتجة. معظم القيم المستخدمة حالياً هي قيم ظاهرية ولكن في نظم التغذية التي يتم فيها معاملة النيتروجين الأيضي كجزء من النيتروجين المطلوب للحفظ، عليه يجب أن يتم استعمال المعاملات الحقيقة بدلاً من الظاهرية.

جدول 2.13 قيم الهضم الظاهرية والحقيقية للبروتين اللفائفي مقدرة بتقنية
The N^{15} – isotope dilution

(From Sauer WC and de Lange k 1992 Novel methods for determining protein and amino acid digestibilities in feedstuffs . In Nissen S (ed.) *Modern Methods in Protein Nutrition and Metabdism* , London , Academic Press)

	كسب فول الصويا	كسب canola	القمح	الشعير
معامل الهضم %				
الظاهري	83.8	66.0	80.0	69.5
الحقيقي	97.5	84.1	99.0	94.2
بروتين داخلي				
جم/كجم مادة جافة مأكولة	25.5	30.5	27.4	27.7
% من البروتين الخام الموجود في نهاية اللفائفي	84.6	53.5	94.5	81.1
جم/ 100 جم بروتين خام مأكول	13.7	18.0	19.1	24.7

وهناك دليل حديث علي أن قيم الهضم الظاهرية لحمض اللايسين وبعض الأحماض الأمينية الأخرى في اللفائفي تغالي في قيمة تيسرها للحيوان، والتي تدعم الفكرة وهي أن هناك خطراً عند مساواة الهضم بالتيسر.

قياس جودة البروتين لحيوانات وحيدة المعدة

إنّ قيم البروتين القابل للهضم ليست قياسات مرضية تماماً لقيمة البروتين للحيوان بسبب أن الكفاءة التي يستخدم بها البروتين الممتص تختلف كثيراً من مصدر إلى آخر ولكي يسمح بمثل تلك الفروق فقد ابتكرت طرق لتقييم البروتينات مثل نسبة كفاءة البروتين.

(Net protein ratio (نسبة صافي البروتين ، (PER) protein efficiency ratio (NPR) وقيمة البروتين الكلية Gross protein value (GPV) والتي بنيت على الاستجابة للنمو في حيوانات التجارب للبروتينات المدروسة.

وتعرف نسبة كفاءة البروتين وفقاً للمعادلة التالية:

$$\text{ن . ك . ب} = \frac{\text{زيادة في وزن الجسم (جم)}}{\text{بروتين مستهلك (جم)}}$$

ويعتبر حيوان الجرذ هو حيوان التجارب المعتاد .

وتحسب نسبة صافي البروتين كما يلي:

$$\text{ن . ص . ب} = \frac{\text{زيادة الوزن في مجموعة البروتين المختبر} - \text{فقد الوزن مجموعة غذاء خالي من البروتين}}{\text{وزن البروتين المستهلك}}$$

قيمة البروتين الكلية " GPV "

إنّ الزيادات في الوزن الحي لكتاكيت أعطيت غذاءً أساسياً يحتوي 80 جم بروتين/كجم وقد تمت مقارنتها بتلك الكتاكيت التي تحصلت على الغذاء الأساسي مضافاً له 30 جم بروتين/كجم من البروتين المختبر، وأخرى تحصلت على الغذاء الأساسي مضافاً له 30 جم/كجم كازين. وتصاغ الزيادة الإضافية في الوزن الحي لكل وحدة مضافة من البروتين المختبر كنسبة من الزيادة الإضافية في الوزن الحي لكل وحدة مضافة من الكازين هي GPV للبروتين المختبر، يعني :

$$GPV = A / A^0$$

حيث :

A = جم زيادة في الوزن المكتسب للبروتين المختبر.

A^0 = جم زيادة في الوزن المكتسب للكازين.

وقد لا ترتبط الزيادات في الوزن الحي مع البروتين المخزن وربما يمكن الحصول على تقييم دقيق أكثر للبروتين بواسطة نتائج تجارب ميزان النيتروجين. ويقاس النيتروجين المستهلك في الغذاء في تلك التجارب مع ذلك النيتروجين الخارج في الروث، البول و أي منتجات تحتوي على نيتروجين مثل اللبن و الصوف أو البيض عندما يكون النيتروجين المتناول مساوياً للخارج " output " ويمكن القول بأن الحيوان في توازن نيتروجيني " nitrogen equilibrium" وعندما يفوق النيتروجين المأكول النيتروجين الخارج فإنه يكون توازناً موجباً وعندما يفوق الخارج المأكول فإنه يكون توازناً سالباً.

ويبين الجدول 3.13 حساب ميزان النيتروجين لخنزير (50 كجم) في اتزان نيتروجيني موجب إلى مدى 21.79 جم/يوم.

وقد أوضحت مقارنات نتائج تجارب الاتزان مع بيانات الذبح المقارن بأنها غالباً تعطي قيماً أعلى للنيتروجين المحتجز، وخاصة مع الحيوانات الكبيرة، و يعتبر هذا بصفة عامة انه نشأ من صعوبات في قياس المفقودات وحقيقة أن النيتروجين وبما يتحول إلى صورة نيترات (nitrate) والتي لا تحدد بواسطة طريقة كلدال " Kjeldahl ". علاوة على ذلك تسجل المحتجزات غالباً بدون ملازمتها لتغير الوزن الحي.

جدول 3.13 ميزان النيتروجين لخنزير " Large white / landrace " على غذاء من القمح ، كسب فول الصويا وكسب الرنكة.

(From Morgan CA and whittemore CT , unpublihed)

	المأكول اليومي (جم)	المخرج اليومي (جم)
نيتروجين الغذاء	**46.42**	
نيتروجين الروث		**4.99**
نيتروجين البول		**19.64**
نيتروجين محتجز بواسطة الجسم		**21.79**
الإجمالي	**46.42**	**46.42**
التوازن		**+ 21.79**

القيمة البيولوجية Biological Value (BV)

وهذا قياس مباشر لنسبة بروتين الغذاء التي يستطيع الحيوان استغلالها لتخليق أنسجة الجسم والمركبات وربما يعرَّف كنسبة النيتروجين الممتص والتي تحتجز بواسطة الجسم. وتجري تجربة توازن ويتم تحديد النيتروجين المأكول وإفرازات النيتروجين في البول والخارج مع الروث وذلك مع الأجزاء الداخلية في هاتين المادتين.

تحسب بعد ذلك القيمة البيولوجية :

$$BV = \frac{\text{N intake} - (\text{Faecal N} - \text{MFN}) - (\text{urinary N} - \text{EUN})}{\text{N intake} - (\text{Faceal N} - \text{MFN})}$$

$$\text{ق . ب} = \frac{\text{نيتروجين المأكول} - (\text{نيتروجين الروث} - \text{نيتروجين الأيضي في الروث}) - (\text{نيتروجين البول} - \text{نيتروجين داخلي في البول})}{\text{نيتروجين المأكول} - (\text{نيتروجين الروث} - \text{نيتروجين أيض في الروث})}$$

حيث:

MFN = نيتروجين أيضي (داخلي) في الروث ؛ EUN = نيتروجين داخلي في البول.

و هناك مثال من تلك الحسابات معطى في جدول 4.13.

وينتج النيتروجين الداخلي للبول من تفاعلات غير منعكسة تشمل هدم وإحلال إفرازات البروتين المختلفة والتركيبات داخل الجسم. لذلك فإن أجزاء النيتروجين الداخلي في الروث وفي البول تمثل النيتروجين الذي تم امتصاصه واستغلاله بواسطة الحيوان مفضلاً عن النيتروجين الذي لا يمكن استغلاله على هذا النحو، إن استثناءها من القيم الخاصة بالروث وبالبول في الصيغة المشار إليها أعلاه تعطي قياساً للقيمة البيولوجية الحقيقية.

ويجب عند تقدير القيمة البيولوجية توفير مقدار وافر بقدر الإمكان من البروتين الغذائي تحت الاختبار. ويجب أن يكفي البروتين المأكول ليسمح باحتجاز كفاية من النيتروجين ولكن لا يجب أن يكون زائداً عن تلك المطلوبة لأعلى مستوى من الاحتجاز؛ إذا تم تجاوز المستوى الأخير فإن الهدم العام للأحماض الأمينية الناتج سوف يخفض تقدير القيمة البيولوجية. ويجب ولنفس السبب إعطاء عناصر غذائية نيتروجينية غير بروتينية كافية للحد من هدم البروتين لتوفير الطاقة ويجب أن يكون الغذاء كافياً في مظاهر أخرى.

جدول 4.13 حساب القيمة البيولوجية للحفظ والنمو في الجرذ.

(From Mitchell HH 1972 *J. Biol. Chem.* , 58, 873)

الغذاء المستهلك يومياً (جم)	6.0
النيتروجين في الغذاء (جم/كجم)	10.43
المأكول من النيتروجين اليومي (ملجم)	62.6

النيتروجين الكلي المخرج يومياً في البول (ملجم)	32.8
النيتروجين الداخلي المخرج يومياً في البول (ملجم)	22.0
النيتروجين الكلي المخرج يومياً في الروث (ملجم)	20.9
النيتروجين الأيضي في الروث يومياً (ملجم)	10.7
القيمة البيولوجية BV = $0.79 = \frac{(22.0-32.8)-(10.7-20.9)-62.6}{(10.7-20.9)-62.6}$	

ويعطي الجدول 5.13 قيماً بيولوجية لبروتينات بعض الأغذية القياسية. تلك القيم البيولوجية للوظائف المشتركة للحفظ، لغرض إحلال بروتينات قائمة وللنمو (يعني تكوين أنسجة جديدة). وقد تحسب القيمة البيولوجية للحفظ فقط من بيانات الاتزان. توجد علاقة خطية بين النيتروجين المأكول والاتزان دون التعادل والذي يمكن أن يمثل بواسطة المعادلة التالية : $y = bx - a$

حيث : y = ميزان النيتروجين.

x = نيتروجين ممتص.

a = نيتروجين مفقود عند تناول 0

} جم نيتروجين / basal KJ

b = دليل اتزان النيتروجين ، تمثل ذلك الجزء من النيتروجين الممتص المحتجز من قبل الجسم وهو يساوي القيمة البيولوجية للحفظ.

إن ناتج القيمة البيولوجية والهضم يسمى صافي استخدام البروتين.

The net protein utilization (NPU) وهو نسبة النيتروجين المأكول والمحتجزة بواسطة الحيوان، الأحماض الأمينية الممتصة بواسطة الحيوان مطلوبة لتخليق بروتينات الجسم.

إن كفاءة إنجاز هذا التخليق تعتمد على ما إذا كانت نسب الأحماض الأمينية في المخلوط الممتص تشابه بروتينات الجسم، وتعتمد جزئياً على نطاق إمكانية تحور هذه النسب. لذلك فإن القيمة البيولوجية لبروتين الغذاء تعتمد على عدد وأنواع الأحماض الأمينية الموجودة في الجزيء: وكلما اقتربت مكونات الأحماض الأمينية في بروتين الغذاء من بروتين الجسم كلما ارتفعت قيمته البيولوجية.

جدول 5.13 القيم البيولوجية لبروتينات أغذية مختلفة للحفظ والنمو لخنزير نامٍ

(From Armstrong DG and Mitchell HH 1955 *J. Anim. Sci.*, 14,53)

الغذاء	القيمة البيولوجية
اللبن	0.97 – 0.95
مسحوق السمك	0.89 – 0.74
كسب فول الصويا	0.76 – 0.63
كسب بذرة القطن	0.63
كسب بذرة الكتان	0.61
الذرة	0.61 – 0.49
الشعير	0.71 – 0.57
البازلاء	0.65 – 0.62

للحيوانات قدرة محدودة على تخزين أحماض أمينية في حالة حرة وإذا لم يكن الحمض الأميني مطلوباً مباشرة لتخليق بروتين فإنه يهدم بسرعة ويتحول إما إلى أحماض أمينية غير أساسية أو يستعمل كمصدر طاقة. حيث أن الأحماض الأمينية الأساسية لا يمكن تخليقها في جسم الحيوان بشكل فعال، فإن عدم توازنها يؤدي إلى خسارة. وسوف يكون لبروتينات الأغذية التي بها أما نقص أو زيادة في أي حمض أميني مخصص قيمة

بيولوجية منخفضة. إذا اعتبرنا اثنين من بروتينات الغذاء أحدهما ينقصه اللايسين وغني بالميثيونين والأخر ينقصه الميثيونين ولكنه يحتوي على فائض من اللايسين، وفيما لو أعطيت هذه البروتينات منفصلة إلى خنازير نامية سوف يكون لها قيم بيولوجية منخفضة بسبب عدم التوازن في هذه الأحماض. ومن ناحية أخرى لو أعطيت هذه البروتينات مع بعضها عندئذ سيكون المخلوط ذا توازن جيد وله قيمة أعلى مما لو أعطى أي منها على حده. وعملياً ولنفس السبب فقد يحدث غالباً أن الغذاء الذي يحتوي بروتينات ذوات اختلاف كبير له قيمة بيولوجية أعلى من الذي يحتوي بروتينات قليلة فقط. ولعلّ هذا ما يفسِّر لماذا لا يمكن تطبيق القيم البيولوجية لأغذية مفردة عند استخدام مخاليط الأغذية، ومن الواضح أن القيمة البيولوجية للمخلوط لا تعني ببساطة المكون المفرد. ولنفس السبب أيضاً يتعذر التنبؤ بقيمة البروتين كمكمل لغذاء ما وذلك بناءً على قيمته البيولوجية.

إنّ للبروتينات الحيوانية عامة قيماً بيولوجية أعلى من البروتينات النباتية بالرغم من وجود استثناءات. كما أنّ الجيلاتين مثلاً به نقص في أحماض أمينية عديدة.

إن مكونات الأحماض الأمينية لبروتين غذائها ستكون ثابتة نسبياً (جدول الملحق 1.3) ولكن مكونات البروتين المراد تخليقه ستختلف كثيراً حسب نوع الحيوان ومختلف الوظائف المراد القيام بها. فعلى سبيل المثال لأجل نمو طبيعي في الجرذان والخنازير والكتاكيت تكون أحماض الايسين، تريبتوفان، هستيدين، ميثايونين، فينايل الانين، ليوسين، أيزوليوسين، ثريونين، فالين والأرجنين أساسية في الغذاء. ولا يحتاج الإنسان إلى الهستيدين اما الكتاكيت فتحتاج جلايسين بالإضافة إلى تلك الأحماض المطلوبة للجرذ لضمان نمو

أمثل. ومن ناحية أخرى لا يعتبر حمض الآرجنين ضرورياً غذائياً للحفظ في حالة الجرذ أو الخنزير.

إن الوضع يتعقد أكثر بحقيقة أن بضعة أحماض أمينية يمكن استبدالها على الأقل جزئياً بأحماض أخرى، فمثلاً يمكن استبدال الميثيونين جزئياً بواسطة سيستين cystine والتايروسين يمكن أن يحل جزئياً محل فينايل الأنين. في تلك الحالات غالباً تؤخذ مع بعضها عند تقدير احتياجات الحيوان. الواضح انه لا يوجد مقدار موحد للقيمة البيولوجية يكفي كمقياس للقيمة الغذائية لبروتين الغذاء لحيوانات مختلفة ووظائف مختلفة. إن الاختلافات في احتياجات الأحماض الأمينية بين الخنازير النامية والدجاج البياض مثلاً موضحة في جدول الملحق 9 ، 10. إن نتيجة الحاجة لقيم متعددة حدثت بشدة عند استعمال فكرة القيمة البيولوجية عملياً.

وتُظهر الطرق البيولوجية في التقييم محتوى الحمض الأميني الحدي في البروتين. وسوف لا تؤثر التغيرات في مستويات الأحماض الأمينية الأخرى في القيم إلا إذا أصبح أحدهما أو الأخر حمضاً حدياً. لهذا فإن بروتين اللبن بما فيه من زيادة لايسين نجد أن تغير اللايسين لا يؤثر في القياسات البيولوجية إلى أن ينخفض إلى مستوى يصبح هو نفسه حمضاً حدياً. لذلك فإن القياسات البيولوجية ذات قيمة محدودة في تقييم تأثيرات عمليات معينة، المعاملة بالحرارة مثلاً، على القيمة الغذائية.

حيث أن القيمة البيولوجية تعتمد أساساً على تكوين الأحماض الأمينية الضرورية، ويبدو منطقياً تحديد القيمة الغذائية لبروتين بواسطة تحديد مكوناته من الأحماض الأمينية

الضرورية ومن ثم مقارنة هذا بالاحتياجات المعروفة من الأحماض الأمينية لنوع معين من الحيوان.

إن تطبيق تقنيات الكروماتوجرافيا مقرونة بإجراءات أوتوماتيكية يسمح بانحلال سريع نسبياً وملائم لمخاليط الأحماض الأمينية. ومن ناحية ثانية أن تحليل الأحماض المستخدم لإنتاج ذلك المخلوط من البروتين يحطم عملياً جميع التريبتوفان ونسبة كبيرة من السيستين والميثيونين. ويجب أن يتم تحرر التريبتوفان بالتحليل القلوي المنفصل أما السيستين والميثيونين فيجب أن تتأكسد إلى cysteic acid وسلفون ميثيونين لضمان تقديرها كمياً. أن الأحماض الأمينية المفقودة وما يعقبه من إنتاج والتي تكون كبيرة في الأغذية ذات المحتوى العالي من الكربوهيدرات، تتناقض لو تم إجراء التحليل *in vacuo*. وسيصبح عملية تقييم البروتينات من حيث كل حمض أميني مفرد مجهدة وغير ملائمة وقد أجريت محاولات عديدة لصياغة نتائج تحاليل الأحماض الأمينية في شكل أكثر ملاءمة واستعمالاً .

القياس الكيميائي **Chemical Score**

في هذا المفهوم يؤخذ في الاعتبار أن جودة البروتين محددة بواسطة الحمض الأميني الأكبر نقصاً عند مقارنته بقياسي. والقياسي المستخدم عامة هو بروتين البيض ولكن باحثين عدة يستعملون الآن مخلوطاً محدداً من الأحماض الأمينية، وقد أوصت منظمة الأغذية والزراعة FAO بنمط مرجعي للأحماض الأمينية Reference amino acid pattern. ويتم التعبير عن محتوى كل حمض أميني ضروري في البروتين كنسبة من القياسي (The Standard Pattern ratio) وتؤخذ أدنى نسبة كقياس as a score. ففي بروتين القمح مثلاً يكون

الحمض الأميني الأكبر نقصاً هو اللايسين. ويكون محتوى اللايسين في بروتينات البيض والقمح 77 و 27 جم/كجم على التوالي وعليه يكون القياس الكيميائي لبروتين القمح 27 / 77 = 0.37 ، وترتبط القياسات جيداً بالقيم البيولوجية بالنسبة للجرذان والإنسان ولكن ليس بالنسبة للدواجن. إنها مقيدة في تصنيف البروتينات ولكن تخضع لمنتقصات خطرة كعدم الأخذ في الاعتبار النقص في الأحماض التي ليس بها النقص الأكبر.

دليل الأحماض الأمينية الضرورية The essential amino index (EAAI)

هو الوسط الهندسي للبيض أو نموذج قياسي، لنسب الأحماض الأمينية الضرورية حيث أن له ميزة التنبؤ بتأثير مكمل مجموعة من البروتينات. من ناحية ثانية يكون الخلل في أن بروتينات ذات مكونات مختلفة جداً قد يكون لها نفس الدليل أو متشابهة له تماماً.

ويعتمد القياس الكيميائي ودليل الأحماض الأمينية الضرورية كلاهما على المكونات الكلية للأحماض الأمينية ومن الممكن أن يكون استخدام قيم الأحماض المتيسرة للحيوان أكثر واقعية. تلك القيم ربما يتم الحصول عليها بطرق عديدة تشمل تحديد الهضم على الحيوان *in vivo* وتحاليل الأحماض الأمينية للغذاء والروث. وتكون القيم التي تم الحصول عليها هكذا غير مؤكدة بسبب أن الروث يحتوي على كميات متباينة من الأحماض الأمينية غير الموجودة في الغذاء وتنتج بدرجة رئيسية من النشاط الميكروبي في الأمعاء الغليظة. فقد اتضح مثلاً أن صافي تخليق الميثيونين واللايسين يحدث في المعي الخلفي. ومن ناحية أخرى يختفي كل من السيستائين cysteine، الثريونين والتربتوفان من الأمعاء الغليظة لكن مساهمتها قليلة أو قد لا يكون لها مساهمة في تغذية الأحماض الأمينية للحيوان.

ويمكن التغلب على هذا العائق بواسطة تحديد معامل الهضم الظاهري بالمعي اللفيفي apparent ileal digestibility، بواسطة قياس الأحماض الأمينية في مواد الهضم في نهاية اللفائفي بدلاً من قياسها في الروث . كما أنّ استنتاج أكثر دقة للأحماض الأمينية الغذائية الممتصة يتوفر لو استعملت مساهمة الأحماض الأمينية من أصل داخلي مع تلك الموجودة في نهاية اللفائفي في حساب الأحماض الأمينية حقاً. إنّ تجارب الهضم على الحيوان *in vivo* مجهدة ومستهلكة للزمن و تحتاج إلى مصادر تقنية هائلة ومهارة وبالتالي فهي مكلفة. وتتضمن التحديدات في المعمل *in vitro* فعل احد أو غالباً قليلاً من الإنزيمات ولا تقارن بالكامل مع التأثير على الحيوان in vivo التي تستلزم سلسلة من الإنزيمات.

التقدير البيولوجي للأحماض الأمينية المتاحة

Biological assay of available amino acids

يمكن تقدير محتوى الأحماض الأمينية المتاحة من بروتين الغذاء بواسطة قياس زيادة الوزن الحي وكفاءة تحويل الغذاء أو احتجاز النيتروجين لحيوانات أعطيت البروتين الكامل كإضافة لغذاء ينقصه حمض أميني معين تحت الاختبار. ويعتبر الكتكوت chick حيواناً تجريبياً معتاداً وتقارن الاستجابة للمادة المختبرة بالاستجابة لإضافات من أحماض أمينيه نقية. واستخدمت الطريقة بنجاح للايسين، الميثيونين والسيستين ولكن بالإضافة إلى المشاكل المرتبطة بالطرق البيولوجية مثل الزمن والخبرة التقنية وتوفر حيوانات مناسبة كما توجد المشكلة الرئيسية في تركيب غذاء ينقصه حمض أميني معين ولكنه كافٍ في النواحي الأخرى.

الطرق الميكروبيولوجية Microbiological Methods

توجد كائنات حية دقيقة معينة لديها احتياجات للأحماض الأمينية مشابه لتلك المطلوبة للحيوانات الراقية، واستعملت لتقييم بروتينات الغذاء. وقد بنيت الطرق على قياس نمو الكائنات الحية الدقيقة في وسائط استنبات Culture media وتشمل البروتين تحت الاختبار. تم الحصول على أحسن نتائج بواسطة

Streptococcus zymogenes and Tetrahymena pyriformis تستخدم الأولى بعض هضم تمهيدي لبروتين الغذاء بحمض أو إنزيم؛ وقد اتفقت تقديرات إتاحة اللايسين و الميثيونين جيداً مع فحوصات الكتكوت وقياسات صافي استخدام البروتين (NPU). *T. pyriformis* لديها نشاطاً ذاتياً محللاً للبروتين ويستخدم للبروتينات الذائبة بدون هضم تمهيدي. طريقة مطورة باستخدام هضم تمهيدي بإنزيم pronase وقياس الاستجابة في شكل محتواً tetrahymanol في وسط استنبات أعطت نتائج عن إتاحة اللايسين، الميثيونين والتربتوفان وهي مرتبطة جيداً مع التحاليل البيولوجية. مركب Tetrahymanol من التيربينات الحلقية الخماسية المميزة Pentacyclic terpenes يتم تخليقه بواسطة *T. pyriformis* ويحدد عن طريق Gas- liquid chromatography.

الطرق الكيميائية Chemical Methods

سيكون مثالياً لو أصبح بالإمكان استخدام طرق العمل الكيميائية البسيطة لتحديد إتاحة الأحماض الأمينية فيما لو أنّ لهذه النتائج ارتباطاً جيداً بتلك الطرق البيولوجية المسلم بها. ولعلّ الطريقة الأكثر انتشاراً هي " FDNB - recative " والتي اقترحت أساساً بواسطة

دكتور K.J.Carpenter ومنذ ذلك الحين خضعت لتحوير من Carpenter وباحثين آخرين، ولعلّ المبرر النظري لاستعمال الطريقة هي انه من الناحية العملية المصدر الوحيد للأيسين والقابل للاستخدام في الغذاء لديه epsilon – amino group حرة لتتفاعل بكواشف كيميائية مختلفة. ويترك البروتين تحت الاختبار للتفاعل في ظروف قلوية مع – (FDNB) 2 , 4 – Fluoro dintrbenzene ليعطي DNP – lysine والذي يمكن قياس تركيزه بواسطة Colorometrically. ومن ناحية عملية نجد أن الطريقة تنطبق جيداً مع طرق العمل البيولوجية لتقييم البروتينات كإضافات للأغذية كتلك المحتوية على نسب عالية من حبوب الغلال محدودة اللايسين. وكان الارتباط كذلك جيداً بالأغذية المكونة أساساً من بروتين حيواني. و لم تكن الطريقة ملائمة في حالة الأغذية النباتية التي تحتوي مستويات عالية من الكربوهيدرات و كانت النتائج متدنية جداً بسبب هدم مشتقات اللايسين الملونة أثناء تحلل الأحماض acid analysis. واقترحت طرق مختلفة لحل هذه المشكلة ولكن لم تكن أي منها مرضية تماماً.

ويبدو واضحاً من الدليل المتوفر أن FDNB – available lysine تقدر إتاحة الحمض عندما تطبق على مساحيق معاملة كما هو مبين في جدول 6.13.

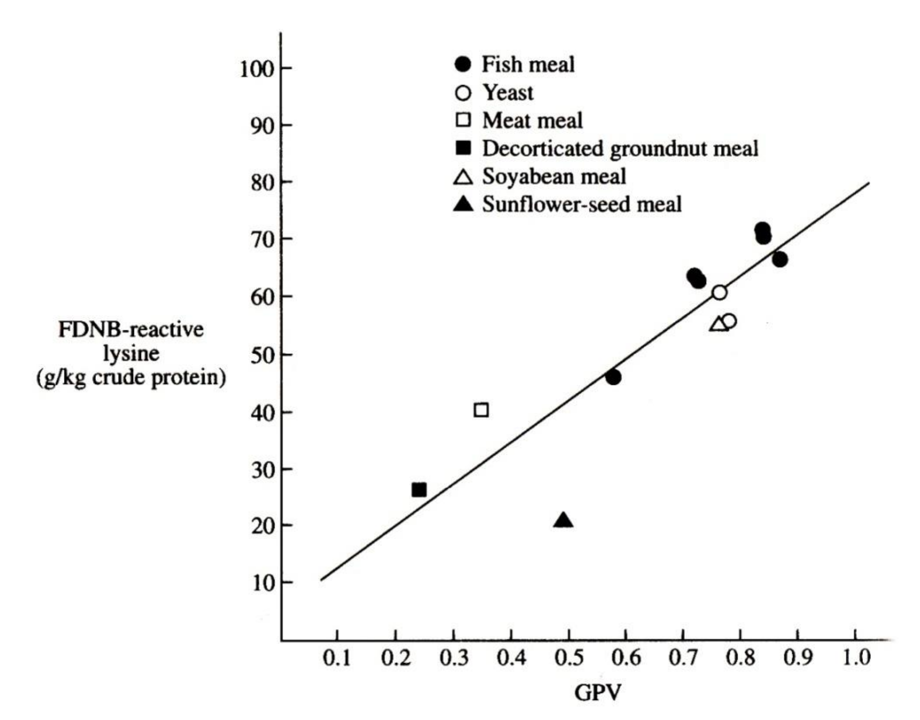
جدول 6.13 متوسط كميات اللايسين، FDNB – recative lysine و اللايسين الحقيقي في مسحوق معامل بالحرارة وفي مساحيق العظم

From Moughan P.J. 1991 In Haresign W. and Cole DJA (eds), *(Recent Advances in Animal Nutrition*, London: Butterworth–Heinemann)

	العينة					
	1	2	3	4	5	6

2.68	3.89	2.73	2.82	2.59	2.65	اللايسين الكلي
2.11	2.57	2.32	2.53	1.91	2.17	اللايسن المتاح FDNB
2.03	2.88	1.97	1.93	1.75	1.72	لايسين مهضوم حقيقياً في اللفائفي (جم / 100 جم)

إنّ قيمة البروتين الكلية من المحتمل أن تكون أكثر الطرق البيولوجية استعمالاً لتقييم البروتينات . قيم البروتين الكلية تقيس قدرة البروتينات على دعم أغذية تتكون في معظمها من حبوب الغلال وترتبط جيداً بقيم FDNB - recative lysine الموضحة في شكل 1.13.



شكل 1.13 العلاقة بين القيمة الكلية للبروتين ومدى تفاعل اللايسين مع– FDNB

(After Carpenter KJ and Woodham AA 1974 Br. *J.Nutr*.,32, 647)

طرق التصاق الصبغة Dye – binding methods

استعملت هذه بكثرة لتقييم البروتين في الأغذية مثل حبوب الغلال واللبن. وهي طرق سريعة وتعطي نتائج قابلة للتكرار وجرت محاولات لاستخدامها في قياس إجمالي الأحماض الأمينية القاعدية واللايسين المتفاعل "recative lysine" يحتاج الأخير إلى تعويق epsilon – amino group للحد من التفاعل مع الصبغة. ولقد استعملت عوامل تعويق منها Orang – G مع Propionic anhydric و sulphonic acid – 2 , 4 – (FDNB) Fluoro dintrbenzene وأثبتت كفاءتها في تقدير محتوى اللايسين في حبوب الغلال، وهي بدرجة أقل لإكساب السمك واللحم. إن زيادة استعمال اللايسين المخلّق في الأغذية أظهرت مشكلة إضافية. هذا الحمض لديه كلا من مجموعتي الأمين متاحة للتفاعل مع FDNB والمركب الناتج ذائب في الأثير ولا يقدر بواسطة طريقة Carpenter.

تفسير التقديرات الكيميائية Interpretation of chemical assays

إن ثمة عوامل عديدة ربما تكون مسئولة عن عدم الاتفاق بين تقديرات جودة البروتين المبنية على محتوى الأحماض الأمينية والتي أجريت في تجارب الحيوانات.

أ . حتى التغيرات الصغيرة في تركيز واحد من الأحماض الأمينية أو أكثر ربما يرفع كميات الأحماض الأخرى المطلوبة للمحافظة على معدلات النمو.

ب. أحماض معينة مثل التريبتوفان والهستيدين ربما تكون سامة، ولو عند تركيزات اكبر بكثير مما هو موجود طبيعياً في بروتينات الغذاء.

ج. ربما يوجد تضاد أحماض معينة وهذا ما يقلل الاستفادة منها. لهذا فإن إضافة مقدار قليل يعادل 20 جم/كجم من الليوسين لغذاء ينقصه ايزوليوسين ربما سيكون له تأثيرات متلفة على الأداء وقد تزداد احتياجات الجرذ إلى الأرجينين بإعطاء مستويات عالية من اللايسين.

د. عوامل غذائية مضادة (ANF, Anti - Nutritional Factors) توجد أحياناً في أغذية تستخدم أساساً كمصادر بروتين الرئيسي من بينها، مثبطات إنزيمات وليكتين Lectins و فينولات عديدة وأحماض أمينيه غير بروتينية. وهي جميعها قادرة على تخفيض امتصاص و/ أو استغلال الأحماض الأمينية من قبل الحيوان ولكن لا تؤخذ في الاعتبار عند تقديرات مصادر البروتين المبنية على محتوى الأحماض الأمينية. وقد تم بحث طبيعة وآلية عمل العوامل الغذائية المضادة في الفصل 23 بإشارة خاصة لأهميتها في أغذية مفردة.

هـ. هناك دليل هام بأن الحيوانات النامية كالجرذان الصغيرة والكتاكيت لا تنجز نموها الفعلي إذا كان النيتروجين الغذائي بالكامل في شكل أحماض أمينية ضرورية. ويكون النيتروجين الإضافي مطلوبا و يكون المصدر الأفضل كمخلوط من الأحماض الأمينية غير الضرورية؛ جلوتامين و ألانين وسيترات أمونيوم مصادر فعالة أيضاً. ويجب أن يكون المخصص من هذه العوامل عندما يتم تقييم مصدر بروتين على أساس مكوناته من واحد أو أكثر من الأحماض الأمينية غير الضرورية.

مقاييس بروتينات الغذاء المستخدم عملياً في تغذية الخنازير والدواجن

Measures of food proteins use in practice in feeding pigs and poultry

إن صعوبة تعيين قيمة البروتين الغذائي انعكست في تنوع الطرق المقترحة. تعطي قيمة البروتين الخام مقياس محتوى النيتروجين الكلي وهي مفيدة لأن هضم بروتينات الغذاء المعطى عامة للخنازير والدواجن ثابتة إلى حد ما.

يُستدل على جودة البروتين الغذائي بواسطة تقدير محتويات جميع الأحماض الأمينية الضرورية أو تلك التي يحتمل أن يكون بها نقص. وتؤسّس الأغذية العملية للخنزير والدواجن بدرجة كبيرة على الغلال ويكون تقييم الأغذية كمصدر بروتين لمثل تلك الحيوانات مسألة قياس قدرتها على تغطية النقص في الأحماض الأمينية في الغلال. ويظهر أهم النقص في هذه الحالات في اللايسين أو الميثيونين، وعليه فإن أكثر قياسات جودة البروتين منفعة هي تلك التي تُظهر إتاحة مكونات اللايسين أو الميثيونين في الغذاء. كما أنّ تحديد إتاحة اللايسين هو الآن مسلم به كطريقة عمل روتينية لبروتينات الأغذية في عدة مختبرات. ولعلّ أحدث طريقة لتقييم البروتين الغذائي للخنازير النامية مبينة على فكرة " البروتين المثالي. هذه تحوير للقياس الكيميائي " Chemical Score " لمخطط الأحماض الأمينية في بروتين نسيجي مخصص يعمل كنموذج مرجعي (جدول 7.13.)

جدول 7.13 ميزان الأحماض الأمينية الموصى به(جم/كجم) في بروتين مثالي .

(From Agricultural Research Council 1981 *The Nutrient Requirements of Pigs* Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal)

لايسين	70	ليوسين	70
ميثيونين + سيستين	35[a]	هستيدين	23
ثريونين	42	فينايل الأنين + تايروسين	67[b]
تريبتوفان	10	فالين	49

أيزوليوسين	38	أحماض أمينية غير ضرورية	596

[a] : على الأقل النصف يكون ميثونين، [b] : على الأقل النصف يكون فينايل الأنين.

إذا كان الحمض الاميني المحدد الرئيسي هو اللايسين عند 50 جم/كجم بروتين خام ، لذلك سيصبح القياس $0.7 = \frac{50}{70}$ ويجب أن يحتوي البروتين المثالي على 700 جم/كجم بروتين خام، غذاء به 170جم/كجم وسيتم من هذا البروتين توفير $119 = 0.7 \times 170$ جم بروتين مثالي /كجم.

ويعتبر البروتين المثالي ملائما لتوفير الأحماض الأمينية الضرورية وغير الضرورية.

إن فكرة البروتين المثالي لا تضع نصيب احتياجات للأحماض الأمينية المفردة الزائدة للبروتين المثالي والتي تكون ضارة في بعض الحالات. لذلك فإن المعتاد حصر تركيز أي حمض بأقل من 1.2 مرة من البروتين المرجعي. ولقد افترض أنه عند حساب الاحتياجات للبروتين المثالي أن تكون نسب الأحماض الأمينية المتاحة لمجموع أيض الجسم مشابهة للبروتين الغذائي. و سوف لا يكون هذا كذلك إذا لم يتم هضم الأحماض أو امتصاصها بنفس القدر. وتصاغ الاحتياجات عادة في صيغة البروتين المثالي المهضوم ظاهرياً " apparently digested ideal protin " (ADIP) واقترح الهضم 0.75 عند تحويل مصدر بروتين نموذجي إلى ADIP.

وبتوفر معلومات أكثر عن قيم الهضم المثالية من المحتمل أن تستخدم هذه بدلاً من قيم مفردة مقترحة. ويمكن مقارنة أنماط الأحماض الأمينية المثالية المهضومة عندئذ بالتوازن في البروتين المثالي وتحسب القياسات كما سبق.

وسيكون توازن الأحماض الأمينية في البروتين المثالي والمطبق في حالة الحفظ ونمو الأنسجة الرخوة والحمل والإدرار مختلفاً، وهذا مما يعكس الاختلافات في مكونات هذه المنتجات. حيث تكون احتياجات الحفظ لإناث الخنزير الحلوب وصغار الخنازير سريعة النمو صغيرة نسبة إلى الإجمالي ومكونات المنتج (بروتين الجسم واللبن) تُسيطر على الطلب من الأحماض الأمينية وبالتالي على مكونات البروتين المثالي. وعليه يجب ملاحظة أن النظام لا يمكن تطبيقه علي أنماط مختلفة من الأحماض الأمينية واستخدامها لوظائف مختلفة. في هذه الحالة استعمال احتياجات حمض أميني مفرد هو الخيار المنطقي. يبدو أنه من ازدياد البيانات المتوفرة يمكن استعمال الأنماط الخاصة بالخنازير النامية للخنازير الحوامل والذكور.

بالنسبة للدواجن يعتمد تقييم مصادر البروتين على محتوياتها من الأحماض الأمينية الرئيسية الثلاثة الحدية واللايسين والميثيونين والتربيتوفان. ويفترض بصفة عامة أن الأغذية المناسبة من هذه الأحماض ستوفر أوتوماتيكياً كميات كافية من الأحماض الأخرى.

مقاييس البروتين للحيوانات المجترة

Measures of protein quality for ruminant animals

من ناحية تقليدية يتم تقييم بروتينات أغذية المجترات في صيغة بروتين خام أو بروتين خام مهضوم. إن إدراك أن جزء البروتين يحتوي كميات مختلفة من النيتروجين غير البروتيني أدى إلى استخدام البروتين الخام الحقيقي بدلاً من البروتين الخام ولكن هذا لم يكن مناسباً نظراً لعدم وضع مخصص للقيمة الغذائية لجزء النيتروجين غير البروتيني . فكرة مكافئ البروتين " protein equivalent " (PE) التي تم إدخالها في 1952 ولكن لم تعد تستعمل في هذا

المحيط ، كانت محاولة التغلب على هذه الصعوبة بواسطة تخفيض نصف القيمة الغذائية للبروتين الحقيقي لجزء النيتروجين غير البروتيني.

ويستخدم مصطلح مكافئ البروتين حالياً مرتبطاً مع الأغذية المحتوية على اليوريا. فعندما تباع تلك الأغذية يجب قانوناً صياغة محتوياتها من مكافئ البروتين لليوريا و يعني هذا كمية نيتروجين اليوريا مضروباً في 6.25.

عندما تكون الحالة أن هناك أعداداً كبيرة من الأغذية يجب تقييمها على أساس روتيني فإن تحديد البروتين الخام المهضوم (DCP) بواسطة تجارب الهضم (الفصل 10) تكون غير عملية. وفي تلك الحالات فإن المرحلة الأولى من التقييم تكون تحديد محتوى البروتين الخام في الغذاء.

بالنسبة للأغذية المركزة والتي تكون مكوناتها ثابتة نسبياً، فإن معاملات الهضم تكون متوفرة من جداول تستعمل فيما بعد لحساب قيم البروتين الخام المهضوم. وفي حالة الأعلاف الخشنة فقد تم تناول مقترحات مختلفة بسبب تغيراتها الكبيرة وأهميتها النسبية الكبرى في النيتروجين الأيضي في الروث وذلك في المواد ذات المحتوى المخفض من البروتين. وفي هذه الحالة فإن معادلات الانحدار Regression equations للبروتين الخام المهضوم على البروتين الخام تستخدم لحساب الأول . والمعادلة النموذجية هي:

$$\mathbf{DCP\ (g / kg\ DM) = CP(g / kg\ DM) \times 0.9115 - 36.7}$$

وقد استعملت على نطاق واسع للأعشاب والخرطان والسيلاج. إن استعمال مثل تلك المعادلات قد يؤدي إلى تخصيص قيم سالبة للبروتين الخام المهضوم كالأعلاف الخشنة المعينة منخفضة البروتين (أقل من 40 جم بروتين خام /كجم مادة جافة مثل اتبان الغلال (Cereal straws)).

وقد كان هناك لعدة سنوات عدم رضا باستعمال البروتين الخام المهضوم لتقييم بروتينات الغذاء وهذا مصدره التحلل المكثف والنشاطات التصنيعية عند الكائنات الحية الدقيقة في الكرش وقد شرحت في الفصل 8. إنّ الكائنات الحية الدقيقة في الكرش تكون مسئولة عن توفير الجزء الأعظم من احتياجات الطاقة للحيوان العائل بواسطة تحويل كربوهيدرات الغذاء إلى أسيتيت، بروبيونيت وبيوتاريت acetate، propionate and butyrate ولأجل عمل هذا واستخدام طاقة الغذاء الفعلية بشكل كامل، يجب عليها أن تنمو وتتكاثر و يتضمن هذا تخليق البروتين الميكروبي على نطاق واسع. النيتروجين ، ويتم الحصول على النيتروجين المطلوب لذلك من أحماض أمينيه و بيتيدات وأمونيا بواسطة هدم جزء النيتروجين في الغذاء.

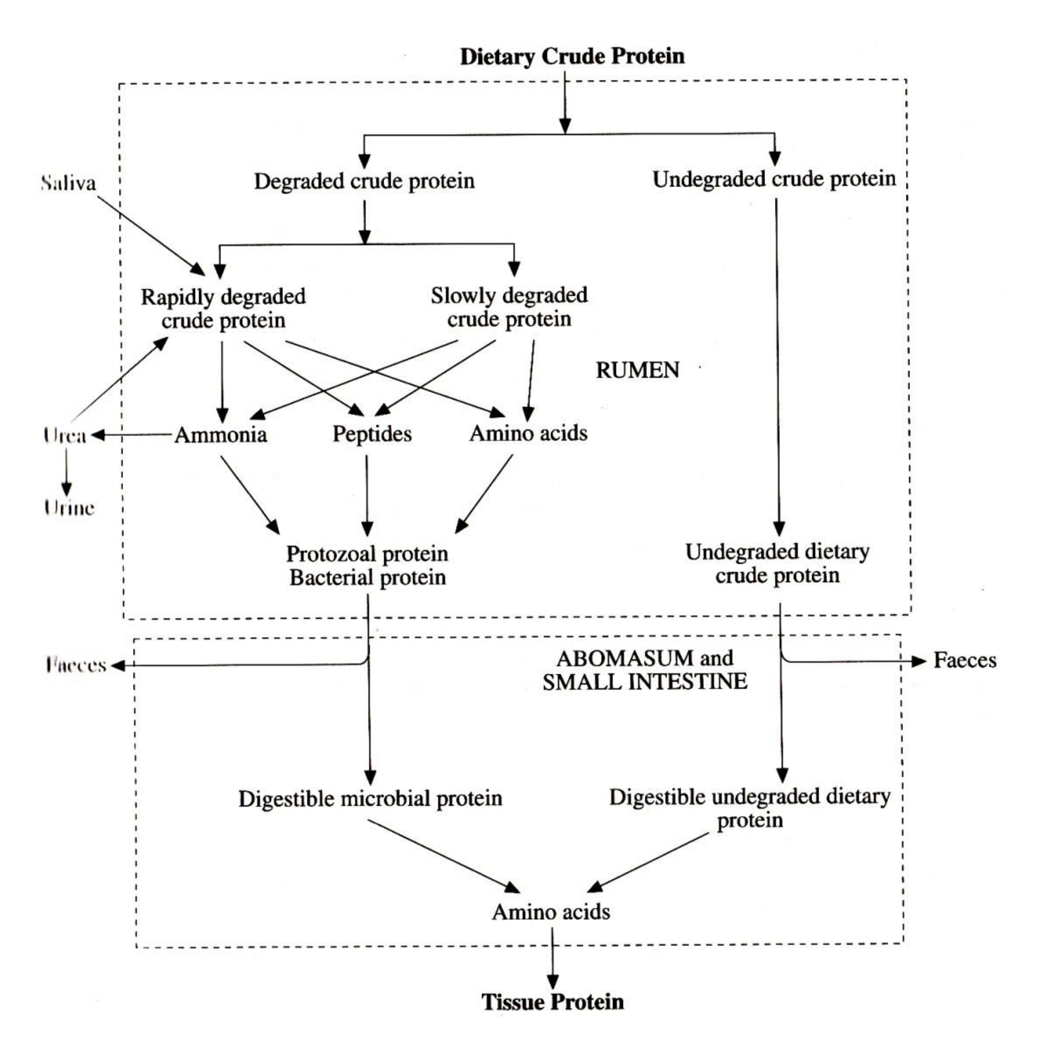
إن هذه العمليات المحللة والمصنعة ذات أهمية في توفير النيتروجين للحيوان العائل نظراً لأنها تحدد طبيعة خلط الأحماض الأمينية لوضعها متاحة لتخليق البروتين عند مستوي النسيج. ولعلّ سلسلة التغيرات التي يخضع لها البروتين الغذائي بين الفم وأنسجة الجسم في الحيوان المجتر موضحة تخطيطياً في شكل 2.13. كما أنّ توفير احتياجات الكائنات الحية

الدقيقة من النيتروجين المتيسر هي أهم وظيفة في الغذاء و عند هذا الحد يجب تحلل نسبة معينة من جزء النيتروجين بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في الكرش.

انحلال جزء النيتروجين من الغذاء

Degradability of the nitrogen Fraction of the diet

يختلف جزء النيتروجين بداخل الغذاء في قابليته للتحلل من تحلل مباشر إلى غير متحلل ومن صفر إلى 1 في المدى الذي يتحلل فيه. وستعتمد قابليته للتحلل على تلك العوامل كمساحة السطح المتاحة لمهاجمة الميكروبات، الطبيعة الفيزيائية و الكيميائية للبروتين والأثر الوقائي للمكونات الأخرى. لذلك فهي خاصية البروتين نفسه ويجب قياسها. وقد نشأت إدعاءات بأن قابلية البروتين للذوبان ترتبط بسهولة بتحلله ولكن هذه لم تبقى مع الفحوصات الانتقادية وهكذا فإن الكازين يتحلل في الكرش بسرعة ولا يذوب بسهولة بينما الألبيومين الذي يقاوم التحلل يذوب بسهولة. ولقد اقترح أن العامل الرئيسي المؤثر في التحلل هو ترتيب الأحماض الأمينية داخل جزيء البروتين. إذا كان هذا صحيحاً فإن طبيعة peptidases المنتجة ميكروبياً في الكرش تكون ذات أهمية كبيرة ويبدو غير مؤكد أن أي اختبار معملي للتحلل يكون ممكناً.



شكل 2.13 مصير البروتين الخام الغذائي في الحيوان المجتر

قياس التحلل على الحيوان **Measurement of degradability *in vivo***

يتضمن هذا قياس النيتروجين الغذائي المأكول والنيتروجين الداخلي (EN) والنيتروجين من غير الأمونيا (NAN) والنيتروجين الميكروبي (MN) الناشئ من الغذاء والماء إلى الإثنى عشر بعد ذلك يتم التعبير عن تحلل النيتروجين Degradability (DY) كالأتي:

$$Dy = 1 - \frac{NAN - (MN + EN)}{Dietary\ N\ intake}$$

أي :

$$\text{تحلل النيتروجين} = 1 - \frac{\text{نيتروجين من غير أمونيا} - (\text{نيتروجين ميكروبي} + \text{نيتروجين داخلي})}{\text{نيتروجين غذائي مأكول}}$$

تحتاج هذه الطريقة إلى قياس دقيق للتدفق إلى الإثنى عشر والنيتروجين الداخلي و الميكروبي. الأول يتطلب استعمال نظام دليل ثنائي الأطوار يكون به معامل اختلاف كبير (بين الحيوانات). وعدة قيم منشورة يجب أن يشتبه فيها بسبب قلة عدد الحيوانات المستعملة في تحديدها. يعرَّف عادة النيتروجين الميكروبي في نيتروجين الإثنى عشر عن طريق مواد دالة (Markers) مثل diaminopimelic acid (DAPA) ،

aminoethylphosphoric acid (AEPA) ، ribonucleic acid (RNA)، ^{35}S -، P^{32} -، ^{15}N – labelled amino acids.

يقاس تركيز الدليل في الكائنات الحية الدقيقة في عينة من سائل الكرش. وتعطي دلائل مختلفة نتائج ذات اختلاف كبير، في بعض الأحيان بما يعادل 100 %. ولعلّ صحة الافتراض بأن الكائنات الحية الدقيقة المعزولة من سائل الكرش تكون ممثلة لتلك الموجودة في الإثنى عشر غير مؤكدة نظراً لأن الأخير يشمل كائنات تلتصق طبيعياً على حبيبات الغذاء و/أو على طلائيات الكرش. ويشكل الجزء الداخلي حوالي 50 إلى 200 جم/كجم من نيتروجين الإثنى عشر ولكن من الصعب تحديده، وغالباً تقترح قيمة 150 جم/كجم. لذلك فإن قياس التحلل (DY) معرض لأخطاء محتملة بسبب الشك في قياس التدفق إلى الإثنى عشر و النيتروجين الداخلي والميكروبي وهي متأثرة باعتبارات غذائية مثل مستوى التغذية وتكرر الوجبات. ولقد تم حساب أن تقدير الانحلال (DY) قد يتفاوت على مدى من 0.3 إلى 0.35 بسبب أخطاء في القياسات وحدها. بالرغم من عدم كفاءاتها فإن هذه التقنية تبقي الطريقة الوحيدة المتوفرة حالياً لتوفير قياس أساسي لتحلل البروتين وهي قياسية تجاه أي طريقة أخرى يراد تقييمها.

تحديد التحلل باستخدام الأكياس :

Determination of degradability *in sacco (or in situ)*

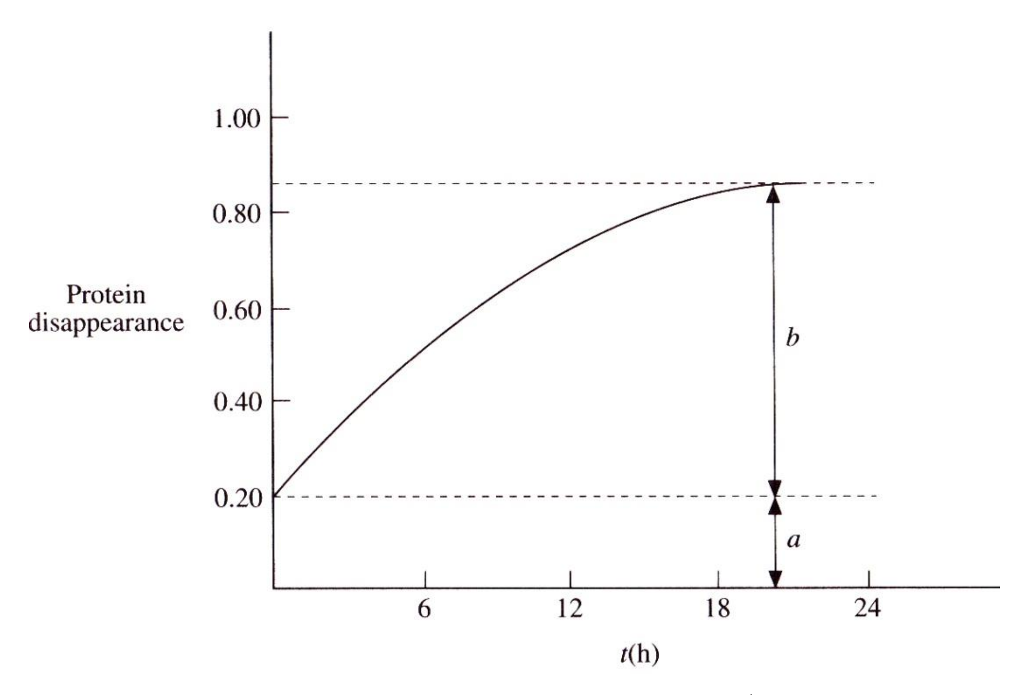
يتضمن هذا تحضين الغذاء في أكياس اصطناعية معلقة في الكرش كما وصفه في الفصل 10. يحسب التحلل كفرق بين النيتروجين الموجود مبدئياً في الكيس والموجود بعد التحضين، و يصاغ كنسبة من النيتروجين الابتدائي:

$$\text{التحلل} = \frac{\text{نيتروجين ابتدائي} - \text{نيتروجين بعد الحضانة}}{\text{نيتروجين ابتدائي}}$$

عندما ينحدر regressed اختفاء النيتروجين (P) مع الزمن فإن قيمة (P) تزداد ولكن بمعدَّل متناقص. يمكن وصف العلاقة في الصورة التالية:

$$\mathbf{P = a + b\,(1 - e^{-ct})}$$

حيث: c، b ، a عبارة عن ثوابت ويمكن إعدادها بواسطة طريقة أقل مربعات تكرارية Least – squares procedure والعلاقة مبينة في شكل 3.13.



شكل 3.13 علاقة اختفاء البروتين بزمن التحضين .

في شكل3.13 نجد أن (a) هو الجزء المحصور على المحور Y ويمثل التحلل عند الزمن صفر. إنه ذلك الجزء من البروتين الذائب في الماء والذي يكون متحللاً مباشرة؛ (b) هو الفرق بين (a) والخط المقارب ويمثل ذلك الجزء من البروتين الذي يتحلل ببطء، (c) هو معدَّل اختفاء الجزء (b) المتحلل فعليا potentially degraded fraction، (t) وهو زمن التعرض. إن مدى هدم البروتين سيعتمد على الوقت الذي يبقي فيه البروتين في الكرش (يعني على معدَّل مروره خلال الكرش). التحلل الفعلي (P) ربما يعرَّف كالأتي:

$$\mathbf{P = a + [\,bc/(c+r)\,][\,1 - e^{-(1c+r)t}\,]}$$

حيث (r) هو معدَّل المرور من الكرش إلى الإثنى عشر. بزيادة زمن التحضين فإن جزء البروتين المتبقي يهبط إلى صفر ، وكذلك معدَّل الهدم وبذلك يمكن تعريف (P) كما يلي:

$$P = a + bc / (c + r)$$

في هذه المعادلة فإن (a) هي البروتين المتحلل مباشرة و $bc / (c + r)$ الجزء المتحلل ببطء.

ويمكن تحديد قيمة (r) بمعاملة البروتين بواسطة dichromate. وتجعل المعاملة البروتين غير مهضوم بالكامل، ولا يوجد فقد في الكروميوم من البروتين تلو المعاملة ولا يتأثر حجم الحبيبات، وبأخذ معدل تخفيف الكروم في عينات من محتويات الكرش على فترة من الزمن وبذلك يمكن تقدير معدَّل مرور البروتين من الكرش.

إذا فرضنا معدَّل مرور 0.05، $a = 0.30$، $b = 0.70$، $c = 0.02$ ستكون فعالية التحلل:

$0.3 + 0.7 \times 0.02 / (0.02 + 0.05) = 0.50$ وعليه يصبح البروتين المتوفر للكائنات الحية الدقيقة في الكرش 0.50 × البروتين الخام.

إن هذه التقنية معرضة للعديد من مصادر الخطأ المتأصلة والتي يجب التحكم فيها إذا أريد الحصول على نتائج قابلة للإعادة reproducible. في مقدمتها حجم العينة وحجم الكيس و مسامية مادة الكيس ومعاملة الأكياس بعد إزالتها من الكرش. الاختبارات الحلقية (يعني اختبارات تجري في مختبرات عديدة) قد أوضحت اختلافات كبيرة غير مقبولة بين المختبرات دلالة على الحاجة إلى إجراءات قياسية معرَّفة صارمة والتي يجب التمسك بها إذا

أريد تطبيق النتائج بشكل شامل عملياً. أعطيت طرق عمل قياسية في مجلس البحوث الزراعية والغذائية (1992).

Technical Committee on Responses to Nutrients , Report , No .9 Nutrient Requirement of Ruminant Animals : protein .

(اللجنة الفنية للاستجابات للعناصر الغذائية، تقرير رقم 9، المتطلبات من العناصر الغذائية للمجترات: البروتين).

الافتراض الأساسي في هذه الطريقة هو أن اختفاء النيتروجين من الكيس يعكس فعلياً الذوبان في سائل الكرش، مرادف للتحلل" degradability ". إنه معروف ولبعض الوقت إن كمية صغيرة من البروتين قابلة للذوبان قد تغادر الكرش بدون تحلل وهذه يجب أن تطرح الشك في دقة القيم التي تم الحصول عليها باستخدام التقنية. ويرافق هذا خطر أكثر في هذا المحيط في الملاحظة الحديثة أن النيتروجين غير الذائب للمنظف الحمضي (ADIN, Acid Detergent lnsoluble Nitrogen) معروف بأنه غير متحلل ربما يختفي أثناء التحضين. التعقيد الإضافي أن وجود بكتيريا الكرش في الأكياس وهي تسهم في نيتروجين المحتوى.

كفاءة حجز النيتروجين Efficiency of nitrogen capture

إن الكفاءة التي يمسك بها النيتروجين بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في الكرش لا تعتمد على سرعة ومدى الهدم فقط ولكنها تعتمد أيضاً على تزامن توفر مصدر طاقة متيسر وقابل للاستغلال ليدعم تخليق البروتين الميكروبي. وقد يسبب الإخفاق في الوصول لهذا التوازن هدماً مكثفاً وسريعاً جداً وقد تُربك القدرة التخليقية للكائنات الحية الدقيقة في الكرش. قد يحدث بناءاً على ذلك فقد نظراً لامتصاص الأمونيا الزائدة وتخرج بشكل كبير كيوريا، نحو مقدار ضئيل يعاد تدويره خلال جدار الكرش ويسهم مرة أخرى في توفير النيتروجين في الكرش. لذلك فإن جزءاً من البروتين الخام في الغذاء والذي يتحلل بسرعة لا يحتمل بأن يكون مصدر نيتروجين فعال للكائنات الحية الدقيقة مقارنة بالمتحلل ببطء وهناك اعتبار عام بان جزء النيتروجين المتحلل ببطء يدمج في البروتين الميكروبي بكفاءة (1.0) بينما يستخدم المتحلل مباشرة بأقل كفاءة. إن تقدير الكفاءة التي يتم بها دمج النيتروجين المتحلل مباشرة مختلفة ولكن (0.8) هي قيمة مستخدمة على نطاق عام.

إنتاج البروتين الميكروبي Yield of microbial protein

إن إنتاج البروتين الميكروبي الذي أصبح متاحاً للهضم والامتصاص فيما وراء الكرش بواسطة العائل قد تم ارتباطه بطاقة الغذاء مصاغة في مصطلحات المادة العضوية المهضومة (DOM، المادة العضوية المهضومة في الكرش (DOMADR)، مجموع المركبات الغذائية المهضومة (TDN)، الطاقة الأيضية (ME)، المادة العضوية المتخمرة (FOM) الطاقة المهضومة المتخمرة (FME). التقييمان الأخيران تستثنى الدهن ونواتج التخمر، فلا يعد أي منها بأنه يوفر طاقة يمكن أن تستخدم بواسطة الكائنات الحية الدقيقة.

وتكون الطاقة الموجودة في نواتج التخمر مهمة في حالة السيلاج وبعض النواتج الثانوية لمعامل التقطير ومصانع الجعة. لا يتعرض الخرطان إلى تخمر بالرغم من أنه يحتوي كميات يمكن قياسها من أحماض التخمر مثل الاستيك والبروبيونيك. ولا يعتبر القياس الروتيني لمساهمة نواتج التخمر في الطاقة الأيضية (ME) في أغذية مفردة في هذا الوقت مسألة عملية وقد عملت اقتراحات وهي ليست صحيحة دائما.

لذلك فأن 10% من الطاقة الأيضية في جميع السيلاج تعد غير متاحة بالرغم من أن سيلاجاً معيناً يظهر درجات في التخمر وأشكالاً مختلفة من نواتج التخمر. بالإضافة إلى أن حمض اللاكتيك الناتج الرئيسي لمعظم السيلاج يتحلل بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة والناتج النهائي هو حمض البروبيونيك. ويذكر بأن حقن حمض اللاكتيك في الكرش يخفض تدفق كل من النيتروجين الميكروبي والنيتروجين من غير الأمونيا في الإثنى عشر بالرغم من تحلل الحمض بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في الكرش. ولعلّ الشيء المحير هو إمكانية إتمام مثل ذلك التحلل إذا لم تستفد الكائنات الحية الدقيقة من تلك الوسيلة.

ومن غير المحتمل أن عامل تصحيح واحد لحساب FME من ME ويجري تطبيقه على كل السيلاج. المعروف أن إنتاج البروتين الميكروبي يختلف حسب مستوى المقدار المأكول وبذلك حسب معدل المرور، حيث يرتبط المأكول الأعلى بإنتاج أعلى. العلاقة المستخدمة في التنبؤ بالبروتين الميكروبي من الطاقة القابلة للتخمر لها أخطاء قياسية عالية للتقييم ويجب استخدامها بحذر. إضافة إلى ذلك فإن تلك العلاقات قد تستخدم لحساب إنتاج البروتين الميكروبي فقط عندما يكون مصدر الطاقة محدداً. وعندما يحدد توفر البروتين

للكائنات المجهرية فإن إنتاج البروتين الميكروبي سيعتمد على مصدر بروتين متيسر للكائنات الدقيقة في الكرش.

الهضم الحقيقي للبروتين True digestibility of protein

وقد يكون البروتين الميكروبي الذي تم تخليقه في الكرش من البروتوزوا أو من البكتيريا. وتعتمد الحصص النسبية على الظروف داخل ذلك العضو. لذلك يميل PH المخصص لخفض نشاط البروتوزوا ويحفز بكتيريا معينة. ويمر مخلوط بروتين البروتوزوا والبكتريا مع البروتين الغذائي غير المتحلل في الكرش إلى المعدة الحقيقية والأمعاء الدقيقة و يهدم هناك إلى أحماض أمينية ومن ثم تمتص في الجسم. هضم البروتين البكتيري أقل (حوالي 0.75) من بروتين البروتوزوا (حوالي 0.90)، وسوف يعتمد هضم البروتين ككل إلى حد ما على بيئة الكرش. من ناحية ثانية يمثل بروتين البروتوزوا نحو إلى 5 إلى 15 % من تدفق البروتين الكلي من الكرش وسيكون تأثيره في الهضم للبروتين الميكروبي عموما صغير. وهناك دليل هام بأن الهضم الحقيقي لللبروتين الميكروبي يقدر بحوالي 0.85. وتختلف تقديرات نسبة البروتين الميكروبي الموجود كبروتين حقيقي من حوالي 0.6 إلى 0.8.

إن هضم البروتين الغذائي غير المتحلل صفة مميزة لمزيج البروتين في الغذاء وربما يختلف كثيراً من غذاء إلى غذاء. وقد أوضح بحث جديد أن عملية الهضم ترتبط عكسياً مع النيتروجين غير الذائب في المنظف الحمضي (ADIN) الذي يعكس ذلك الجزء من نيتروجين الغذاء المرتبط بشدة مع الألياف غير الذائبة. وربما يحسب محتوى البروتين غير المتحلل والقابل للهضم للغذاء كما يلي:

DUP = 0.9 (undegradable protein – ADIN × 6.25)

بُنيت المعادلة على افتراض أن (ADIN) غير قابل للهضم وأن الجزء القابل للهضم له هضم حقيقي (0.9).

وفي حالة أغذية مثل جلوتين الذرة وبعض منتجات التقطير والنواتج الثانوية للجعة والتي تمت معاملتها بالحرارة تحت ظروف رطبة، قد تحدث تفاعلات نوع ميلارد (الفصل 4) مسببة زيادة في تركيز مركبات نيتروجينية غير ذائبة في المنظف الحمضي. ذلك ADIN (المكتسب) له قيمة هضمية منخفضة ومحدودة وتكون المعادلة السابقة غير ملائمة للاستعمال لمثل تلك الأغذية.

كفاءة الاستفادة من الأحماض الممتصة

Efficiency of utilization of absorbed

يستخدم مخلوط الأحماض الأمينية من أصل غذائي والممتصة من الأمعاء الدقيقة (يعني الأحماض الأمينية المهضومة حقيقياً) في تخليق بروتين الأنسجة. كفاءة هذه العملية والتي تعتمد على مكونات المزيج نسبة إلى ذلك البروتين المراد تخليقه، يُمثل على أحسن ما يرام بواسطة قيمته البيولوجية الحقيقية. وسيعتمد هذا بدوره على القيمة البيولوجية للبروتين الغذائي غير المتحلل المهضوم والبروتين الميكروبي المهضوم، وعلى الحصص النسبية لكل مساهمة في المزيج إضافة لذلك ستختلف تبعاً للوظيفة المطلوبة لها. يُعتقد بأن للبروتين الميكروبي قيمة بيولوجية ثابتة نحو حوالي 0.8 بينما سيكون ذا الأصل الغذائي مختلفاً وصفه

مميزة للأغذية التي تكون الوجبة. وسيكون التنبؤ بتلك القيم الغذائية صعباً جداً نظراً لأنه ليس هناك دليل لقيم البروتينات الفردية بالقياس إلى قيمتها في مجموعة.

يجب أن يشمل نظام للتغذية الكمية للحيوانات المجترة العمليات الموصوفة ويتطلب قياس تلك العوامل مثل التحلل(degradability)، كفاءة التمسك بالنيتروجين وإنتاج البروتين الميكروبي وهضم البروتين الميكروبي، هضم البروتين الغذائي غير المتحلل والقيمة البيولوجية الحقيقية للنيتروجين الممتص.

نظام المملكة المتحدة للبروتين الأيضي

The UK metabolizable protein system

تم وصف النظام بالكامل في تقدير مجلس البحوث الزراعية والغذائية (1992) اللجنة الفنية للاستجابات للعناصر الغذائية رقم 9، الاحتياجات الغذائية للحيوانات المجترة: البروتين (9، TCORN) يصاغ الطلب الميكروبي للبروتين في شكل البروتين المتحلل في الكرش فعلياً(EDRP) ويتعين تقييم الغذاء بنفس التعابير.

يحسب البروتين المتحلل فعلياً كالآتي:

$$\mathbf{ERDP = CP \times [\ 0.8\ \mathit{a} + \mathit{bc} \,/\, (\ \mathit{c} + \mathit{r}\ )]}$$

حيث : *a*، *b* ،*c* المعايير المعدَّة مشتقة من تحديد تحلل الغذاء باستخدام الأكياس *in sacco*، (0.8) هي كفاءة التمسك بالنيتروجين المتحلل سريعاً و (*r*) معدَّل التدفق وهو مختلف كما يلي:

الحيوان	(*r*)
أبقار وأغنام عند مستويات منخفضة من التغذية	0.02

عجول، أبقار لحم، أغنام، أبقار لبن (إلى ضعف الحفظ)	0.05
أبقار لبن منتجة أكثر من 15 كجم لبن	0.08

استعملت المعادلة التالية بديلاً لحساب (r) لمستويات تغذية (L) كمضاعفات الطاقة الأيضية (ME) للحفظ:

$$\mathbf{r = -0.02 + 0.14\,(1 - e^{-0.35\,L})}$$

اخذ بعين الاعتبار فارق تمسك البروتينات المنحلة سريعاً أو ببطء ومعدَّل المرور خلال الكرش.

يقاس الطلب على الأحماض الأمينية عند مستوى النسيج على هيئة بروتين حقيقي مهضوم مطلوب امتصاصه من الأمعاء الدقيقة ويرمز له بالبروتين المهضوم Metabolizable protein (MP).

يساهم البروتين الميكروبي في اتجاه إشباع هذا الطلب. ويرتبط إنتاج البروتين الميكروبي مع الطاقة المتيسرة للكائنات الحية الدقيقة في شكل طاقة أيضية قابلة للتخمر وتعرف كالآتي:

$$\mathbf{FME = ME - ME_{fat} - ME_{ferm}}$$

ME_{ferm} تفترض أن تكون ME 1.0 للسيلاج و ME 0.05 للجعة والنواتج الثانوية لمعامل التقطير، ME_{fat} تكون 35 ميجا جول/كجم. ويحسب إنتاج البروتين الميكروبي الخام (جم) كالأتي:

FME (MT) Y

حيث : (Y) = 9 عند الحفظ.

= 10 للنمو.

= 11 للإدرار.

أو بديلاً عن ذلك:

$$y = 7 + 6\,(1 - e^{-0.35\,L})$$

ونفترض أن تكون نسبة البروتين الميكروبي الخام الموجود كبروتين حقيقي 0.75، وأن يكون الهضم الحقيقي 0.85 و تكون مساهمة البروتين الميكروبي (DMP) في الأحماض الأمينية الممتصة حقيقا:

$$\mathbf{DMP\ (g/\ K_g\ DM) = FME\ (\mathit{Y}\ \ 0.75 \times\times\ 0.85) = 0.6375\ (FME\ \mathit{y})}$$

عندما تؤخذ هذه المسألة بعين الاعتبار يتبقى هناك احتياجات على البروتين الأيضي المتبقي والتي يمكن حسابها في صورة (DMP –MP) و يمكن تغطية هذا بواسطة البروتين الغذائي غير المتحلل المهضوم. وتحسب قيمة الهضم الحقيقي للبروتين الغذائي غير المتحلل بافتراض أن محتوى (ADIN) النيتروجين غير الذائب للمنظف الحمضي يكون غير قابل للهضم والمتبقي له هضم حقيقي تساوي 0.9. الهضم الحقيقي للبروتين غير المتحلل حقيقياً (DUP)

تصبح:

$$DUP = 0.9 [CP(1 - a - bc / (c + r)) - 6.25 ADIN]$$

حيث : c، b ،a هي ثوابت معتادة لطريقة الأكياس و DUP و CP و ADIN تكون على هيئة جم/كجم مادة جافة. وقد يحسب البروتين المهضوم المتوفر من الغذاء كالأتي:

$$MP (g/k_g DM) = DMP + DUP$$

البروتين الأيضي (جم/كجم) = البروتين الميكروبي المهضوم + البروتين غير المتحلل المهضوم.

مثال تقييم مصدر بروتين بهذه العلاقات معطى في جدول 8.13.

جدول 8.13 : تقييم مصدر من البروتين لحيوان مجتر.

الحيوان: بقرة لبن حلوب، $Y = 11$

مركزات بها:

بروتين خام (جم/كجم مادة جافة) = 550

مستخلص إثير (جم/كجم مادة جافة) = 20

طاقة أيضية (ميجاجول/كجم مادة جافة) = 12.5

a = 0.2، b = 0.65، c = 0.06، r = 0.05؛ADIN(جم/كجم مادة جافة)= 0.20

إذن:

ERDP (جم/كجم) = 550 [0.8 × 0.2 + (0.65 × 0.06 / (0.06 + 0.05))] = 283

FME (ميجا جول/كجم مادة جافة) = 12.5 − (35 × 0.02) = 11.8

ERDP / FME = 283 / 11.8 = 23.98 > Y والطاقة محددة.

إذن:

DMP (جم) = 0.6375 (11.8 × 11) = 82.7 .

DUP (جم/كجم مادة جافة) = 0.9 { [550 (1 − 0.2 − (0.65 × 0.06 / (0.06 + 0.05)))

] − 6.25 × 0.2 } = 219.4.

MP (جم/كجم) = DMP + DUP = 82.7 + 219.4 = 302.1.

إذن:

ERDP = 283 جم /كجم مادة جافة.

DUP = 219 جم/كجم مادة جافة.

MP = 302 جم/كجم مادة جافة.

إن محتوى البروتين الأيضي للغذاء ليس له استعمال كدليل لقدرة الغذاء على إشباع الطلب الباقي للبروتين الأيضي نظراً لأنه يشمل مساهمة من ERDP والتي أخذت حالاً في الحساب في صورة DMP. لذلك فإن محتوى الغذاء من البروتين يصاغ في شكل ERDP و DUP.

أنظمة أخرى لتقييم البروتين Other protein evaluation systems

لقد طورت أقطار عديدة أنظمة مشابهة لنظام المملكة المتحدة حتى الآن على أنها تعتمد على تقييم الأحماض الأمينية الممتصة حقيقة كخط أساسي.

أ – النظام الفرنسي، البروتين المهضوم في الأمعاء PDI.

ب – النظام الأسكندنافي (AAT - PBV) مؤسس على الأحماض الأمينية الممتصة حقيقياً في الكرش وتوازن البروتين في الكرش.

ج – النظام الأمريكي (البروتين الممتص حقيقياً، AP).

د – النظام الألماني مؤسس على البروتين الحقيقي المتدفق صوب الإثنى عشر.

هـ – النظام الهولندي " البروتين المهضوم في الأمعاء " (DVE).

و – النظام الاسترالي البروتين المهضوم ظاهرياً المغادر المعدة (ADPLS).

بعض العلاقات الأكثر أهمية المدمجة في هذه الأنظمة قورنت في جدول 9.13.

جدول 9.13 مقارنة افتراضات عملت لبعض أنظمة البروتين .

From AFRC 1992 Tech. Comm. on Responses to Nutrients Rep. No . 9.*Nutritive Requirements of Ruminant Animals: Protein* . Farnham . Royal : Commonwealth Agricultural Bureaux

العامل [a]	النظام [b]					
	PDI	CPFD	DVE	AAT - PBV	AP	ADPLS

1.0 – 0.8	0.9			0.95	0.90	MCP/ RDP
0.170 – 0.095						MCP / DOM
		0.151				MCP / DC
			0.150		0.145	MCP / FOM
0.56	0.64	0.60	0.64	0.65	0.64	DMTP / MCP
	0.80 – 0.53	0.70[c]		0.66	0.95[c] – 0.55	DUP / UDP
						TP / TDTP
0.70	0.67	*d*	0.67	0.80	*d*	الحفظ
0.70	0.65	0.75	0.64	0.80	0.64	الإدرار
0.70	0.50			0.80	0.68– 0.28	النمو
0.60	0.15					الصوف / الشعر

MCP[a] : البروتين الميكروبي الخام. **RDP** : بروتين متحلل في الكرش. **DOM** : مادة عضوية مهضومة. **DC** : كربوهيدرات مهضومة. **FOM** : مادة عضوية متخمرة. **DMTP** : بروتين ميكروبي حقيقي مهضوم. **DUP** :بروتين غير متحلل مهضوم. **UDP** : بروتين غذائي غير متحلل. **TP** : بروتين نسيجي. **TDTP** : بروتين حقيقي مهضوم حقاً. [b] : انظر ص (**601**) للاختصارات الخاصة بالأنظمة التي ذكرت سابقاً. [c] : تختلف تبعاً لصنف الغذاء.

[d] : الاحتياجات مقدرة من ميزان النيتروجين أو تجارب التغذية.

وكما تم ذكره الآن، فإن مقترحات كل الأنظمة تعتمد وبشكل قوي على قيم التحلل المحددة في تجارب الحيوانات و تشكل هذه أساس قيم مفترضة لأصناف مفردة من الأغذية. وتكون الاختلافات في التحلل بين أنواع مفردة من الأغذية كبيرةً، خاصة في حالة الأعلاف (Forages). وهناك ضرورة لطريقة سريعة وروتينية ودقيقة تسمح بقياس تحلل جزء النيتروجين في الأغذية. أي طريقة تتضمن حيوانات معاملة جراحياً تكون غير مقبولة

بسبب مشاكل العمالة والإيواء والوسائل الفنية، التكلفة والسرعة. لهذا فإن هناك حاجة مُلحة لطريقة معملية سريعة تفي بهذه المعايير.

إجراءات معملية لتحديد تحلل النيتروجين

Laboratory procedures for determining nitrogen degradability

الذوبان في محاليل منظمة **Solubility in buffer solution**

ظهرت ارتباطات معنوية بوضوح بين قيم التحلل لأجزاء نيتروجين الأغذية كخصائص ذوبانها في مدى من المحاليل المنظمة تشمل اللعاب الاصطناعي الذي أعده McDougall، منظم فوسفات البورات borate phosphate ومنظم Wise Burroughs's. وعندما استعملت الطرق لسلسلة من الأغذية كانت أخطاء التنبؤ عالية وغير مقبولة ولكن داخل أنواع الأغذية تحسن التنبؤ بما يكفي للسماح باستعمال ذوبان المنظم في المراقبة الروتينية للأغذية المركزة. وتكون الحالة أقل إيجابية فيما يتعلق بالأعلاف (Forages) ولا توجد طريقة مقبولة متوفرة بالرغم من انه و كما هو الحال في الأغذية المركزة فإن التقيد بأنواع الغذاء يحسن التنبؤ.

الذوبان في محاليل إنزيمية **Solubility in enzyme solutions**

لقد تم التحقق من تذويب البروتين في إنزيمات منقاة من فطريات وبكتيريا على نطاق واسع كوسائل لتقدير التحلل. وأعطت إنزيمات مختلفة محللة للبروتين (proteases) نتائج مختلفة عند مقارنتها بتقنية الأكياس. ولم يكن هذا غير متوقع على ضوء حقيقة أن إنزيم مفرد تم استعماله لتحفيز عمل نظام إنزيمي متعدد في الكرش. وتكون الدقة ضعيفة على نطاق من الأغذية كما في حالة المحاليل المنظمة ولكنها تتحسن عندما تطبق التقنية داخل أنواع نفس الغذاء. وكانت أكثر مصادر الإنزيمات الواعدة:

***Streptococcus griseus*, *Streptococcus bovis*, , *Bacteroids amylophilus* *Butyrovibrio straine 7*.**

وكانت بكتيريا المصدر المفضل من الإنزيم لتقدير التحلل في نظام PDI الفرنسي *Streptococcus griseus protease*. وقد أدخلت الطريقة المستخدمة تصحيحات لأنواع مختلفة من الغذاء ومعادلة انحدار للتحلل بطريقة الأكياس على ذوبان الإنزيم أعطت انحرافاً معيارياً (residual standard deviation (rsd) (0.025) . لذلك يتوقع أن تكون تقديرات التحلل في حدود 0.05 ∓ من قيمة طريقة الأكياس *in sacco* في 95 % من الحالات.

التحليل الكيميائي Chemical analysis

وضح عدد من الباحثين ارتباطات معنوية بين محتوى البروتين الخام والتحلل مبيناً تناقص نسبة جزء من النيتروجين المرتبط بالألياف بزيادة محتوى النيتروجين.

ويعتقد بأن للمعادلة التالية للتنبؤ بتحلل النيتروجين في الأعشاب خطاءً مقبولاً للتنبؤ:

$$DY = (0.9 – 2.4) (CP – 0.059 NDF / CP)$$

حيث: CP البروتين الخام و NDF ألياف المنظف المتعادل (جم/كجم).

وهنا يظهر أنه لا توجد معادلات ملائمة للتنبؤ بتحلل جزء النيتروجين للمواد الخام الأخرى ومركبات الأغذية من خلال مكوناتها الكيميائية.

وستؤدي طرق العمل المخبرية التي وصفت لها معوقات رئيسية في أنها تتنبأ بالتحلل عند معدَّل تدفق واحد فقط وان استعمالاتها في أنظمة تستخدم معدَّلات تدفق متنوعة إلى أخطاء كبيرة.

التحليل الطيفي لمعامل انعكاس الأشعة دون الحمراء القصيرة

Near infra–red reflectance Spectroscopy (NIRR)

تعكس مقاييس NIRR أنواع ونسب التراكيب العضوية داخل المادة، وهكذا فهي مستخدمة على نطاق واسع للتحليل الروتيني للأغذية وتقييمها غذائياً (الفصل 1). ولذلك فمن المتوقع بان توفر هذه التقنية حل لمشكلة تحديد التحلل. وقد تم حديثاً إثبات علاقات معنوية بين خصائص التحلل المحددة بطريقة الأكياس ***in sacco*** ومعامل الانعكاس (Reflectance). ويبدوا أن الطريقة قادرة على التنبؤ بالبروتين المتحلل فعليا في الكرش (ERDP) ، *a* و *b* بدقة معقولة. أن قيمة (*c*) يمكن حسابها واستخدامها لتقدير التحلل الفعلي عند أي معدَّل تدفق مرغوب وهذه ميزة هامة وزائدة عن الطرق المعملية الحالية الأخرى. ومن ناحية ثانية فقد تم اختبار عينات قليلة نسبياً حتى الآن (8 نموات ابتدائية

و11 نموات ثانوية من الأعشاب)، وبالإضافة لذلك لم تتوفر عشيرة مستقلة لتحديد درجة صحتها (Validation). إن المثير للاهتمام في ذلك أن علاقات انحدار عدة استعملت في الماضي لنفس الأغراض لم تكن مثبّتة على عشائر مستقلة أيضا. بناءاً على الدليل المتوفر وبسبب قدرته الفعلية على توفير قيم عند معدَّلات تدفق مرغوبة، فإن العمل بعشيرة أكبر من أغذية ذوات خصائص تحلل معلومة لترسيخ مصداقية التقنية الواعدة سيكون مبرراً تماماً.

مراجع الفصل الثالث عشر

1. Agricultural Research Council 1980 *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux.
2. Agricultural Research Council 1984 *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Supplement No.1* Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux.
3. Agricultural and Food Research Council 1992 *Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. 9, Nutrient Requirements of Ruminant Animals: Protein*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureax. (see also *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B*, **62:**787 – 835).
4. Haresign W and Cole D J A (eds) 1988 *Recent Advances in Animal Nutrition*. London, Butterworths.
5. Haresign W and Cole D J A (eds) 1991 *Recent Advances in Animal Nutrition*. London, Butterworths/Heinemann.
6. Nissen S (ed.) 1992 *Modern Methods in Protein Nutrition and Metabolism*. London, Academic Press.
7. Van Weerden I , Van Weerden E J and Huisman J (eds) 1992 *Nutritive and Digestive Physiology in Monogastric Farm Animals*. Wageningen, Pudoc.
8. Wiseman J and Cole D J A (eds) 1990 *Feedstuff Evaluation*. London, Butterworths.

الفصل الرابع عشر

معايير التغذية للحفظ والنمو

معايير التغذية للحفظ والنمو

Feeding Standards for maintenance and growth

يتم وصف بيانات الكميات من الاحتياجات الغذائية من قبل الحيوانات بواسطة مصطلح عام، معايير التغذية. وقد استخدم اثنان من المصطلحات الأخرى في نفس السياق وهي الاحتياجات الغذائية والمخصص. لم يكن أي منها معرّف تماماً، ولكن الفارق التقريبي بينهما هو أنه إذا كانت الاحتياجات هي متوسط ما يحتاجه الحيوان لوظيفة مخصصة فإن المسموح به يكون أكبر من هذه الكمية وبحد أمان صمّم أساسا ليأخذ بعين الاعتبار الاختلافات في الاحتياجات بين الحيوانات المفردة. مقاييس التغذية يمكن أن يعبر عنها بواسطة كميات من العناصر الغذائية أو مقررات غذائية. وهكذا فإن الاحتياج إلى الفوسفور لخنزير يزن 50 كجم يمكن صياغته بقدر 11 جم فو/يوم أو بقدر 5 جم فو/كجم من الغذاء. وقد استخدمت الطريقة الأولى من التعبير أساساً لحيوانات أعطيت كميات مضبوطة من الأغذية، وغذّيت الأخيرة لحيوانات لحد الشبع. واستعملت وحدات مختلفة لمقاييس التغذية. فمثلاً يمكن أن تصاغ احتياجات المجترات من الطاقة في شكل طاقة صافية و طاقة أيضية أو وحدات غذائية. واحتياجاتها من البروتين في شكل بروتين خام و بروتين خام مهضوم أو بروتيني أيضي. والجدير بالملاحظة أن الوحدات المستخدمة في المقاييس يجب أن تكون هي نفسها المستخدمة في تقييم الأغذية. وربما تعطي مقاييس مستقلة لكل وظيفة عند الحيوان أو كقيم عامة للوظائف معاً. وتعطي احتياجات أبقار اللبن مثلاً عادة على انفراد للحفظ ولإنتاج اللبن ، ولكن تلك الخاصة بالدجاج النامي فتكون للحفظ والنمو معاً.

تكون احتياجات الوظائف المفردة في بعض الحالات غير معلومة ويكون هذا واضحاً للاحتياجات من فيتامين أو عنصر معدني.

كما تم وصفة سابقاً فيكون تحويل المطلوب إلى مسموح به والذي يتم استعماله في عملية التغذية مصحوباً بعامل أمان. إن مبرر عوامل الأمان تلك تكون موضحة بواسطة المثال التالي. نفترض أن في أبقار وزنها الحي 500 كجم قد وجد أن احتياجات الطاقة للحفظ تتراوح في الأفراد بين 30 إلى 36 ميجا جول لكل يوم وبقيمة متوسطة 33 ميجا جول. بالرغم من أن بعض الاختلافات ربما تكون نتيجة عدم الدقة في طرق القياس المستخدمة، فإن معظمها سوف يعكس وبدون شك فروقاً حقيقية بين الحيوانات.

وحيث انه على هذا النحو فإن تبني متوسط تقييم الاحتياجات، 33 ميجا جول كمسموح به لاستعماله عملياً سوف يؤدي إلى أن بعض الأبقار تغذّي أكثر والبعض الأخر تحت مستوى التغذية. ويعتبر انخفاض مستوى التغذية هو الآفة الكبرى ولهذا قد يضاف عامل أمان للاحتياجات وذلك عند حساب الاحتياجات الموصي بها. وسوف يصمم هذا العامل ليضمن عدم وجود أي حيوانات أو تلك ذات الاحتياجات المرتفعة استثنائياً فقط ستكون تحت مستوى التغذية. وربما تكون إضافة اعتباطية أو الأفضل هي المبنية رياضياً على الاختلافات بين الحيوانات ؛ وكلما كان هذا الاختلاف كبيراً سيكون الأمان كبيراً . لقد انتقدت عوامل الأمان بدوافع التغذية الزائدة، ولتكن 90 % من المجموعة لضمان أن 10 % الباقية لم تكن جميعاً تحت مستوى التغذية على أن ذلك إجراء مبالغ فيه. هذه مبررة للمغذيات والتي قد يسبب نقصها اضطرابات خطيرة والموت أيضا، وكذلك التي تكون

تكاليف زيادة توفيرها منخفضةً نسبياً (مثل الماغنسيوم). وبالنسبة لمغذيات إمداد الطاقة فمن المحتمل أن تكون عوامل الأمان غير مبررة. ومن ناحية ثانية فمن المحتمل أن زيادة توفير الطاقة يكون مكلفاً ، وبالرغم من استجابة الحيوانات للزيادة، فربما تكون زيادة معدل الإنتاج غير مرغوبة، كما هو الحال عند تخزين الحيوانات لكميات زائدة من الدهن.

ويجب تذكّر الاختلافات بين الحيوانات وكذلك بين عينات الغذاء عند تحديد المقاييس الغذائية. حيث تعني تلك الاختلافات أن تطبيق مقاييس على حيوانات مفردة وعينات من أغذية مفردة يكون حتماً مصحوباً بأخطاء، ولهذا السبب تعتبر مقاييس التغذية كدلائل للتغذية العملية، وليست كقواعد جامدة و هي لا تحل محل فن مربي الماشية في براعته في ضبط تناول الغذاء وفقاً لأداء الحيوان.

وهكذا فإن مقاييس التغذية غير مقتصرة في تطبيقها لتغذية حيوانات مفردة و يمكن استعمالها على مقياس مزرعة أكبر لحساب، فمثلاً مجموع الغذاء الشتوي المطلوب من قبل قطيع حلاب وحتى على المقياس الوطني لتساعد في تخطيط ورادات الغذاء.

وقد صيغت بين 1960 ومنتصف الثمانينيات 1980's مقاييس التغذية في المملكة المتحدة من قبل علماء البحث تحت رعاية مجلس البحوث الزراعية ثم تحولت إلى منشورات عملية عن طريق العاملين بالإرشاد في وزارة الزراعة والمنظمات التجارية والحكومية المرتبطة. وهناك منشورات من هذين المصدرين مُدْرجة في نهاية هذا الفصل.

وفي 1983، هناك منظمة واحدة في المملكة المتحدة وهي اللجنة الفنية

أصبحت The Technical Committee on Responses to Nutrients مسؤولة عن كل من مراجعة المقاييس وإخراج كتيبات عمليه. وقد تمكنت بعملها خلال فرق العمل التي تضمنت كل من علماء بحث وعاملين بالإرشاد من إخراج تقارير نشرت بواسطة المكتب الزراعي للكومون ويلث " CAB " وذلك في مراجع وملخصات التغذية
" Nutrition Abstracts and Reviews ".

وقد أدرجت بعض من هذه التقارير في نهاية الأبواب المناسبة. كما أن لدى عدة أقطار كتيبات مقاييس التغذية. فاستراليا عندها لجنة وطنية لإعداد المقاييس وهي التي نشرت ما يتعلق بالمجترات والخنازير. المقاييس المستخدمة في الولايات المتحدة أعدت بواسطة لجان المجلس الوطني للبحث NRC " National Research Council "ونشرت تحت عنوان عام " احتياجات الحيوانات المستأنسة من الغذاء "
(Nutrient Requirement of Domestic Animals) كذلك فرنسا لديها منشورات رسمية مماثلة.

إن تعدد مقاييس التغذية والميل إلى مراجعتها باستمرار وزيادة استخدام الحاسوب في تكوين العليقة هي عوامل شجعت المستخدمين على أن يكونوا ذوي مرونة أكثر عند اختيارهم مقاييس التغذية. كذلك فإن التأكيد الآن يكون بدرجة أقل على وضع احتياجات دنيا وبدرجة أكثر على وصف العلاقات المستمرة بين المأكول من الغذاء وأداء الحيوان ولهذا السبب كان تشكيل (اللجنة الفنية)
(Technical Committee on Responses to Nutrients) في المملكة المتحدة.

مقاييس التغذية للحفظ Feeding standards for maintenance

يكون الحيوان في حالة بقاء عندما تبقى مكونات جسمه ثابتة، وعندما لا يعطي أي منتج كاللبن ولا يقوم بأي جهد في محيطه. وبما أن حيوانات المزرعة لا تبقي على الحالة غير المنتجة إلا نادراً، فقد يبدو أن تحديد احتياجات الغذاء للحفظ يكون للاهتمام الأكاديمي فقط، إلا أن احتياجات الكلية للعديد من أنواع الحيوانات ونذكر أبقار اللبن، يتم التوصل إليها عاملياً بواسطة حاصل جمع الاحتياجات محسوبة للحفظ وللإنتاج كل على حده.

وهكذا فإن لمعرفة حاجات الحيوان للحفظ أهمية عملية ونظرية أيضاً.

إن الأهمية النسبية لاحتياجات الحفظ مبينة في جدول 1.14، وهي توضح الجزء المستخدم لهذا الغرض كنسبة من احتياجاتها الكلية للطاقة وذلك لأنواع مختلفة من الحيوانات.

ولعل الحيوانات التي أخذت كمثال في جدول 1.14 جميعها ذوات إنتاجية عالية، أما الحيوانات ذوات الإنتاجية الأقل فهي تستخدم نسبة أكثر للحفظ مما تتناوله من طاقة . وعلى سبيل المثال، يمكن حساب أن الأبقار في أفريقيا تستخدم في المتوسط حوالي 85 % مما تتناوله من طاقة وذلك لغرض الحفظ.

وتجبر الحيوانات المحرومة من الغذاء على سحب مخزونات أجسامها لمواجهة احتياجاتها من العناصر الغذائية للحفظ. ولقد رأينا للتو أن الحيوان الذي لا يتحصل على غذاء يجب أن يؤكسد مخزونات العناصر الغذائية لتوفير الطاقة اللازمة لمثل تلك العمليات

الضرورية مثل التنفس ودوران الدم. حيث أن الطاقة المستغلة تخرج من الجسم في صورة حرارة، فإن الحيوان يكون بذلك في حالة اتزان طاقة سلبي. ويكون ذلك طبق الأصل للعناصر الغذائية الاخري: إذا غُذِّي حيوان على غذاء خالٍ من البروتين فإنه يستمر في فقد النيتروجين في روثه وبوله وبالتالي يكون في ميزان نيتروجين سلبي.

جدول 1.14 النسب التقريبية من مجموع احتياجات الطاقة للحيوانات والتي تساهم في احتياجاتها للحفظ.

الاحتياجات (ميجا جول طاقة صافية) لغرض:			
	الحفظ	الإنتاج	الحفظ كنسبة من المجموع
القيم اليومية			
بقرة لبن تزن 500 كجم وتنتج 20 كجم لبن	32	63	34
عجل مخصي يزن 300 كجم وينمو بمعدل 1 كجم	23	16	59
خنزير يزن 50 كجم وينمو بمعدل 0.75 كجم	7	10	41
دجاجة لحم تزن 1 كجم وتنمو بمعدل 35 جم	0.5	0.32	61
القيم السنوية			
بقرة لبن تزن 500 كجم، وتعطي عجل وزنه 35 كجم، 5000 كجم لبن	12200	16000	43
أنثى خنزير تزن 200 كجم تنتج 16 صغير وزن الواحد 1.5 كجم عند الولادة، 750 كجم لبن	7100	4600	61
دجاجة تزن 2 كجم، تنتج 250 بيضة	190	95	67

إن الغرض من عليقة الحفظ هو الحد من هدم أنسجة الجسم، وعليه فإن احتياجات الحفظ من عنصر غذائي ما تعرّف بالكمية التي يجب توفيرها في الغذاء وبذلك لا يعاني الحيوان من مقدار نقص ولا من زيادة في ذلك العنصر. ولهذا فإن احتياجات الحفظ هي الكمية الدنيا التي ترقى إلى الاتزان الصفري.

إن التقيد بالحد الأدنى يعتبر ضرورياً لأنه عندما يكون الحيوان قادرا على تخزين العنصر الغذائي الذي نحن بصدده، فإن زيادة توفر الكمية أكثر من المطلوب للحفظ سيظل ينتج عنه اتزان صفري.

احتياجات الطاقة للحفظ Energy Requirements For Maintenance

Basal and Fasting Metabolism

لقد تبين في البداية بأن الطاقة المنفقة لحفظ لحيوان تتحول إلى حرارة تخرج من الجسم في هذه الصورة. وتعرف كمية الحرارة الناشئة بهذه الطريقة بالأيض الأساسي للحيوان ويوفر قياسها تقدير مباشر لكمية الطاقة الصافية التي يجب أن يتحصل عليها من غذائه لكي يواجه احتياجات الحفظ. إن قياس الأيض الأساسي يكون معقداً لأن الحرارة المنتجة من قبل الحيوان ليست من هذا المصدر فقط ، لكنها قد تكون ناتجة من هضم وأيض مكونات الغذاء (الجرم الحراري للتغذية HI) ومن النشاط العضلي الإرادي للحيوان. قد يزداد إنتاج الحرارة إلى حد أكثر لو تم وضع الحيوان في بيئة باردة. ويتم عند قياس الأيض الأساسي إزالة التأثير المعقد للجرم الحراري للتغذية (HI) عن طريق منع الغذاء عن الحيوان.

وتختلف فترة منع الغذاء عن الحيوان والمطلوبة لهضم وأيض الوجبات الغذائية السابقة اختلافاً كبيراً بين أنواع الحيوانات. ويكون التصويم في حالة الإنسان الليلي كافياً أما المجترات فإنها تستمر في الهضم والامتصاص والأيض لعدة أيام بعد توقف التغذية،

و يتطلب هذا منعها من الغذاء لمدة أربعة أيام على الأقل . وينصح بنفس المدة للخنزير ومدة يومين للدجاج (Fowl). وهناك عدد من المعايير تثبت وصول الحيوان إلى حالة ما بعد الامتصاص. وعندما يكون بالإمكان قياس إنتاج الحرارة بشكل متواصل، فإن الدليل الملائم هو الانخفاض التدريجي وبمستوى ثابت في إنتاج الحرارة. يعطي الدليل الثاني عن طريق حاصل العملية التنفسية. ويتحول عند الصيام مخلوط الأكسدة تدريجياً من الدهن والكربوهيدرات والبروتينات الممتصة إلى دهن وبروتين الجسم. ويكون تبديل الكربوهيدرات بالدهن في المخلوط مصحوباً بانخفاض في حاصل العملية التنفسية لغير البروتين، وعندما تصل قيمة الدهن النظرية (0.7) فقد يفترض أن الطاقة تتم الحصول عليها من مخزون الجسم. وهناك دليل إضافي على وصول المجترات لحالة ما بعد الامتصاص وهو تناقص إنتاج الميثان (ومن ثم النشاط الهضمي) إلى مستوى منخفض جداً. ويمكن خفض مساهمة النشاط العضلي الإرادي في إنتاج الحرارة إلى مستوى منخفض عند قياس الأيض الأساسي في الإنسان الخاضع للدراسة، وتكون محاولة الوصول إلى الاسترخاء التام في حالة المجترات نادرة. وقد يحد الصيام من النشاط مع أنه حتى النشاط القليل الذي يتمثل في الوقوف مقابل الرقود يكون كافياً لزيادة إنتاج الحرارة. وبناءاً على ذلك يكون المصطلح أيض الصيام مفضلاً على

الأيض الأساسي في دراسات حيوانات المزرعة نظراً لعدم إدراك الظروف الأساسية التامة بسهولة.

ويستخدم مصطلح هدم الصيام (Fasting Catabolism) لكي يتفق مع أيض الصيام، و يشمل هذا كميات الطاقة القليلة نسبياً والتي تُفقد في بول الحيوانات التي منع عنها الغذاء (Fasting animals) . وأعطيت بعض القيم النموذجية لأيض الصيام في جدول 2.14، و كما هو متوقع فإن القيم الأكبر تكون للحيوانات الكبيرة وليست للصغيرة، ولكن العمود 2 يوضح أنه في حالة وحدة الوزن الحي يكون أيض الصيام اكبر في الحيوانات الصغيرة. وفي المرحلة المبكرة لدراسة أيض الصيام تم التعرف على أن إنتاج الحرارة يكون أكثر تناسباً مع مساحة السطح في الحيوانات مقارنة بأوزانها، وأصبح من المألوف مقارنة هذه القيم لحيوانات ذات الأحجام المختلفة وذلك بالتعبير عنها كعلاقة بمساحة السطح (عمود 3 جدول 2.14).

ومن الواضح أن قياس مساحة السطح للحيوانات تكون صعبة، ولذلك ابتكرت طرق للتنبؤ عن طريق وزن أجسامها. إن أساس تلك الطرق هو أن مساحة السطح للأجسام المتساوية في الشكل والكثافة تتناسب مع الوزن مرفوعاً للثلثين

$w^{0.67}$. إن التطور المنطقي لهذا التقدم كان قد أهمل حساب مساحة السطح وعبّر عن أيض الصيام كعلاقة مع $w^{0.67}$. عند مواصلة اختبار العلاقة بين أيض الصيام ووزن الجسم فقد وجدت علاقة قوية بين الأيض و $W^{0.73}$ وليس $W^{0.67}$. ولقد استخدمت دالة W

$^{0.73}$ كقاعدة مرجعية لأيض الصيام في حيوانات المزرعة حتى عام 1964 عندما تقرر أن يحوَّل الأس إلى 0.75 (انظر عمود 4 من جدول 2.14).

جدول 2.14 بعض القيم النموذجية لأيض الصيام في حيوانات بالغة من أنواع مختلفة.

الحيوان	الوزن الحي (كجم)	أيض الصيام (ميجا جول/يوم)			
		لكل حيوان	لكل كجم وزن حي	لكل م^2 من مساحة السطح	لكل كجم وزن ^{075} .
		(1)	(2)	(3)	(4)
الأبقار	500	34.1	0.068	7.0	0.32
الخنزير	70	7.5	0.107	5.1	0.31
الإنسان	70	7.1	0.101	3.9	0.29
الأغنام	50	4.3	0.086	3.6	0.23
الدجاج	2	0.60	0.300	-	0.36
الجرذان	0.3	0.12	0.400	3.6	0.30

وهناك نقاش كبير عما إذا كانت مساحة السطح أو $W^{0.75}$ (عادةً تسمى الوزن الحي الأيضي) هي الأساس الأفضل. هذا سوف لن يكرر هنا ولكنه موجود في محتوى الكتب المدرجة في نهاية هذا الفصل. من ناحية رياضية لا يوجد خيار بين الأساسين نظراً لأن علاقاتهما بأيض الصيام متقاربة تماماً.

ويتراوح أيض الصيام في الحيوانات الناضجة في الحجم من الفئران إلى الفيلة وقد وُجد بواسطة " S. Brody " وبقيمة متوسطة هي 70 كيلوكالوري/ كجم وزن$^{0.73}$ / يوم؛ وهذا يكافئ على وجه التقريب 0.27 ميجا جول/كجم وزن$^{0.75}$ / يوم. من ناحية ثانية هناك اختلافات كبيرة من نوع إلى نوع، كما هو موضح في جدول 2.14. وعلى سبيل المثال تميل

الأبقار لأن يكون لها أيض الصيام بمقدار 15 % أقل. وتوجد أيضاً اختلافات بداخل النوع ويلاحظ ذلك بسبب العمر والجنس. ويكون أيض الصيام لوحدة الوزن الحي الأيضي أعلى في الحيوانات الصغيرة منه في الكبيرة ويكون مثلاً 0.39 ميجا جول/كجم وزن $^{0.75}$ / يوم في عجل صغير، ولكنه 0.32 ميجا جول/كجم وزن$^{0.75}$ فقط في بقرة بالغة ويكون أيضاً أعلى بحوالي 15 % في ذكور الأبقار مقارنة بالإناث أو الذكور المخصية.

تقدير احتياجات طاقة الحفظ من قياسات غير تلك المستخدمة في أيض الصيام

Estimating Maintenance Energy Requirements From Measurements Other than those of Fasting Metabolism

من التعريف فإن كمية الطاقة المطلوبة للحفظ هي تلك التي تعزز توازن الطاقة (توازن طاقة صفري). ويمكن تقدير هذه الكمية مباشرة في حيوانات مغذاة مقابل أخرى صائمة إذا تمت معرفة محتوى الطاقة في غذائها فإن ميزان الطاقة لديها يمكن قياسه. ويمكن من السهل نظرياً تركها حتى يصل الحيوان إلى توازن الطاقة، ولكن من ناحية عملية يكون من السهل تركها لتحقق زيادات قليلة أو فقد ومن ثم استخدام نموذج من النوع المرسوم في شكل 5.11 لتقدير الطاقة المأكولة المطلوبة للاتزان.

فمثلاً نفترض أن عجل مخصي وزنه 300 كجم أعطى 3.3 كجم مادة جافة / يوم في شكل غذاء له $\frac{M}{D}$ = 11 ميجا جول/ كجم، وله k_f = 0.5. عندما يحتجز هذا العجل2 ميجا جول/يوم فإن احتياجات الحفظ من الطاقة الأيضية يمكن حسابه كالأتي:

(3.3 × 11) – (2 / 0.5) = 32.3 ميجا جول طاقة أيضية / يوم.

ويمكن إتباع هذا النهج أيضا في تجارب التغذية بحيث لا توضع الحيوانات في المحرّات الحيوانية . وتعطى الحيوانات كميات معلومة من طاقة الغذاء و تقاس أوزانها الحية وكذلك الكسب أو الفقد في الوزن الحي. إن تجزئة الطاقة المأكولة بين المستخدمة في الحفظ والمستخدمة في زيادة الوزن الحي يمكن عملها بطريقتين تتضمن أبسط طريقة استخدام مقاييس غذائية معلومة لزيادة الوزن الحي. أما البديل فهو تحليل قيم الطاقة المأكولة (I) ، والوزن الحي (W) وزيادة الوزن الحي (G) عن طريق حل معادلات في صورة:

$$I = a\, w^{0.75} + b\, G$$

وتوفر المعاملات a،b تقدير كميات طاقة الغذاء المستخدمة للحفظ ولكل وحدة في زيادة الوزن الحي على التوالي. ويمكن أن تحور هذه الصورة من التحليل لحيوانات لها أكثر من نوع واحد من الإنتاج، مثل أبقار اللبن، وذلك بزيادة حدود إضافية في الجانب الأيمن من المعادلة. ولعل الاعتراض الوحيد على تحديد الاحتياجات من الطاقة للحفظ (وكذلك للإنتاج)، بهذه الطريقة هو أن تغيرات زيادة الوزن قد تخفق في إعطائه مقياساً صحيحاً لتوازن الطاقة.

ومن ناحية أخرى يمكن وضع الطريقة على أساس طاقة أدق باستخدام تقنية مقارنة الذبائح لتقدير تغيرات محتوى الطاقة في الحيوانات.

أيض الصيام كأساس لتقدير احتياجات الحفظ

Fasting metabolism as a basis for estimating maintenance requirements

إن لطريقة تجربة التغذية لتقدير احتياجات الحفظ ميزة بأنها طبقت على حيوانات وضعت تحت ظروف مزرعة عادية بشكل أفضل من الظروف غير الطبيعية المتمثلة بالصوم في جهاز المِحَر (Calorimeter). وعادة يكون من الصعب تحويل القيم أيض الصيام إلى احتياجات عملية للحفظ. ولعل أحد العوامل التي تؤخذ بالاعتبار أن الحيوانات في المزرعة عموماً تستخدم طاقة أكثر للنشاط العضلي الإرادي. كما أن ثمة عامل آخر وهو أن الماشية المنتجة يجب أن تعمل بأيض أكثر قوة من حيوانات صائمة وبالتالي تتعرض لأعلى تكلفة للحفظ. ثالثاً تعاني الحيوانات في المزرعة من درجات شديدة في المناخ وربما تضطر لاستخدام الطاقة وبصفة خاصة للمحافظة على درجة الحرارة الطبيعية لأجسامها.

يناقش العاملان الأوّلان أدناه وتناقش تأثيرات المناخ على الاحتياجات من الطاقة للحفظ في موضوع تأثير المناخ.

ويمكن توضيح تقديرات الطاقة المنفقة لمختلف صور النشاط العضلي الإرادي في جدول 3.14. وأعطيت في العمود الأول قيم الطاقة المنفقة لكل وحدة وزن حي. ويعطي العمود الثاني تقديرات لعدد من وحدات النشاط يمكن أن تحدث، ويعطي العمود الثالث ما ينفقه خروف وزنه 50 كجم من طاقة في اليوم. فمثلاً عندما يسير الخروف 3.0 كم في اليوم (سطر 3) ووحدة التكلفة تكون 2.6 كيلو جول/ كجم وزن حي/ كم، وبهذا فإن خروف يزن 50 كجم سيتعرض لإنفاق 2.6 × 3.0 × 50 = 390 كيلو جول / يوم. يتضمن جدول

3.14 ويمكن حساب قيمة أيض الصيام على أن الطاقة الصافية المطلوبة للخروف لغرض الحفظ ستزداد بمعدل 100 (390 / 4300) = 9 % عندما يسير مسافة 3.0 كم / يوم.

وعلى الأرجح فأن بعض من النشاطات المدرجة في جدول 3.14 تقوم بها كل الحيوانات (الوقوف – النهوض – الاستلقاء، بالإضافة إلى الحد الأدنى من الحركة أو التنقل)، وغالباً ما تضاف هذه الطاقة المنفقة إلى أيض الصيام عند حساب احتياجات الحفظ. فعلى سبيل المثال في نظام NRC مجلس البحوث الأمريكي 1980 والذي تم تحويره من قبل وزارة الزراعة والغذاء والثروة السمكية (MAFF) يكون المسموح به لهذا النشاط حوالي 7 كيلو جول/كجم وزن حي/يوم، وهذا يعادل

350 كيلو جول/ يوم لخروف وزنه 50 كجم أو حوالي 8 % من أيض الصيام.

إن المنفق من الطاقة لغرض الأكل (تناول الغذاء و المضغ و البلع والاجترار تكون مضمنة في الجرم الحراري للتغذية (HI)) (أي أنها تؤخذ في الاعتبار عند تقدير عوامل k). ومن ناحية أخرى عندما يكون الحيوان في الرعي ولا يقدم له الغذاء فإن ما ينفقه من الطاقة لنشاطه العضلي سوف تزداد بشكل كبير. ويوضح الجدول 3.14 انه في حالة خروف وزنه 19 كجم وعليه أن يمشي مسافة 5 كم ويتسلق 0.2 كجم في اليوم بحثاً عن الغذاء وكذلك يمتد وقته في الغذاء من 2 إلى 8 ساعات يومياً سوف تزداد الطاقة المنفقة عنده بنحو 650 + 280+ 750 = 1680 كيلو جول/ يوم وهذا يعادل ما يقارب 40 % من أيض الصيام لديه. وبشكل عام فمن المحتمل أن تكون احتياجا ت الحفظ لحيوانات الرعي أكبر بحوالي 25 –

50 % من الحيوانات المرباة في الحظائر، وتعتمد الزيادة الفعلية على تضاريس الأرض والغطاء النباتي.

إن الكفاءة التي استخدمت بها الطاقة الأيضية لمواجهة المنفق على النشاط العضلي (Kw) يفترض بأنها هي نفسها Km.

بالرغم من قياس أيض الصيام تحت ظروف قياسية إلا انه من المعروف أن القيمة المتحصل عليها لحيوان ما ستعتمد على حالة الطاقة السابقة للحيوان.

عندما يكون الحيوان على مستوى عالٍ من التغذية ويتم تصويمه فجأة فإن أيضه سيكون أكبر من حيوان مماثل له ولكنه وضع في السابق على مستوى منخفض. وفي مقارنة تمت على حملان أوزانها 35 كجم، وجد أن المجموعة التي كانت على مستوى عالٍ سابقاً لها 20 % زيادة في أيض الصيام مقارنة بتلك التي وضعت على مستوى معتدل. وأتضح نفس الأثر عندما محاولة إعطاء حيوانات غذاء يكفي فقط لاستقرار أوزانها (أي وضعها في حالة حفظ ؛ حفاظ على الحياة). وبمرور الوقت يتم خفض العليقة تدريجياً للمحافظة على التوازن المطلوب. ولعل الاستنتاج هو أن الحيوانات تستطيع التكيف على علائق ذوات مستوى منخفض (الحفظ)، إما بتحسين كفاءة استخدام الطاقة أو — وهو أكثر ترجيحاً، بخفض النشاط العضلي غير الضروري. ويعني هذا أنه عندما تم تحديد أيض الصيام لحيوان ما بعد فترة من التغذية على مستوى منخفض كما في الحالة المعتادة، إذن فالقيمة المتحصل عليها حتى وإن ازدادت لتسمح بنشاط عضلي إضافي فإنها ربما تعطي تقييماً أقل لاحتياجات الحفظ خلال فترة التغذية على مستوى عالٍ. إن مصدر الخطأ هذا تم تداركه

في نظام الطاقة الاسترالي الخاص بالمجترات ، وذلك بأن احتياجات الحفظ تزداد كلما ارتفعت مستويات الطاقة المأكولة.

جدول 3.14 الطاقة المنفقة للنشاط الطبيعي في نعجة وزنها 50 كجم

النشاط	المنفق/كجم وزن حي	مدى أو تكرار النشاط	المنفق/يوم (كيلو جول)
أثناء الوقوف	0.4 كيلو جول/ساعة	9 ساعة/يوم	180
وضع متغير:			
وقوف واضطجاع	0.26 كيلو جول	6 مرات/يوم	78
أثناء المشي	2.6 كيلو جول/كم	5 كم/يوم	650
أثناء التسلّق	28 كيلو جول/كم	0.5 كم/يوم	280
أثناء الأكل	2.5 كيلو جول/ساعة	2 – 8 ساعة/يوم	1000 – 250
أثناء الاجترار	2.0 كيلو جول/ساعة	8 ساعة/يوم	800
أيض الصيام			4300

المعايير الحالية Present Standards

تعتمد احتياجات الحفظ للأبقار في نظام (1980) ، (ARC) كما تم تحويره عن طريق (MAFF) على بيانات لأيض الصيام (F ، ميجا جول/ يوم). بالنسبة للعجول المخصية والعجلات وتكون المعادلة هي:

$$F = 0.53 (W / 1.08)^{0.67}$$

يخفض الوزن الحي إلى وزن صيام مقدر عن طريق القسمة على 1.08 ويحسب الوزن الأيضي، بالأس 0.67 وليس المألوف أكثر (0.75).

وقد تم حساب المخصص لأدنى نشاط متوقع في الحيوانات المرباة في الحظائر بحوالي 0.0071 W للأبقار النامية وحوالي 0.0091 W لأبقار اللبن. لذلك فإن احتياجات الطاقة الصافية للحفظ لبقرة تزن 500 كجم قد تحسب كما يلي:

$0.53\ (500 / 1.08)^{0.67} + 0.0091 \times 500 = 36.9$ ميجا جول/ يوم

لو احتوى غذاء بقرة ما على 11 ميجا جول طاقة أيضية /كجم، Km (جدول 1.12) أصبحت 0.714، وان احتياجات البقرة من الطاقة الأيضية سوف تكون:

36.9 / 0.714 = 51.7 ميجا جول طاقة أيضية / يوم.

بما أن الطلائق لديها أيض صيام أكبر فقد يؤخذ في الاعتبار أن لها احتياجات بقاء أعلى بمقدار 5 % مقارنة بالعجول المخصية أو العجلات من نفس الوزن . أما الأغنام ، فإن معادلة التنبؤ باحتياجات الحفظ (كطاقة صافية) للنعاج والكباش المخصية تكون : 0.226 $(W / 1.08)^{0.75} + 0.007\ W$

ومن هذا فإن نعجة تزن 60 كجم يحسب على أنها تحتاج 5.0 ميجا جول طاقة أيضية في اليوم أو عندما Km = 0.714 فإن البديل هو التعبير عن احتياجاتها بما يعادل 7.0 ميجا جول طاقة أيضية / يوم. كما هو الحال في الأبقار فالذكور التامة (الكباش) يؤخذ في الاعتبار بأنها تحتاج 15 % طاقة زائدة للبقاء.

وتصاغ احتياجات الطاقة للخنازير والدواجن عادةً مجتمعة للحفظ والإنتاج معاً، على الرغم من أنه تم حساب بعض المعايير من ناحية نظرية.

أعطت اللجنة الفنية الخاصة بالاستجابات للعناصر الغذائية في المملكة المتحدة The UK Technical Committee on Responses to Nutrients احتياجات الحفظ لإناث الخنازير الناضجة في حدود 430 كيلو جول طاقة أيضية / كجم $^{0.75}$ / يوم (17.5 ميجا جول لأنثى تزن 170 كجم) على أن تكون احتياجات الذكور البالغة 15 % أعلى أي في حدود 495 كيلو جول طاقة أيضية / كجم وزن $^{0.75}$ / يوم. وتكون احتياجات البقاء للدجاج حوالي 550 كيلو جول طاقة أيضية /كجم وزن $^{0.75}$ في اليوم.

تأثير المناخ على أيض الطاقة وعلى احتياجات طاقة الحفظ

Influence of Climate on Energy Metabolism and on Energy Requirements for Maintenance

لا يقتصر تأثير المناخ على تغذية حيوانات المزرعة على احتياجات الحفظ ولكنه يمتد إلى مظاهر أخرى من أيض الطاقة وكذلك إلى عناصر غذائية التي توفر الطاقة. بالرغم من ذلك فإن التأثير الأكبر للمناخ يكون على احتياجات الطاقة ، فإن ويكون الحيوان الموجود في المناخ البارد عند أو أقل من مستوى الحفظ هو الأكثر تأثراً بالمناخ.

الثدييات والطيور هما من ذوات الدم الحار " *Homeotherms* " وهذا يعني أنها تحاول المحافظة على درجة حرارة الجسم ثابتة. وتنتج الحيوانات حرارة وبشكل مستمر ولكي تحافظ على ثبات درجة حرارة الجسم يجب أن تتخلص منها إلى البيئة المحيطة. القناتان

الرئيسيتان اللتان يمكن أن تفقد خلالهما الحرارة الأول يدعى فقد محسوس بواسطة الإشعاع و التوصيل والحمل الحراري من سطح الجسم ، والثاني فقد بالتبخير للماء من كل سطح الجسم والرئتين (2.52 ميجا جول/كجم ماء).

ويعتمد معدَّل فقد تلك الحرارة في المرحلة الأولى على الفرق في درجة الحرارة بين الحيوان وبيئته؛ بالنسبة لحيوانات المزرعة فإن درجة الحرارة الشرجية وهي أدنى قليلاً من درجة الحرارة داخل الجسم تقع في نطاق 36 – 43°م. ويتأثر معدَّل فقد الحرارة أيضا بخصائص الحيوان مثل العازل الذي توفره أنسجته والغطاء الخارجي الطبيعي وبتلك الخصائص المتعلقة بالبيئة كسرعة الهواء ، الرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي. معدَّل فقد الحرارة في الواقع يحدد بتداخل معقد من عوامل يساهم بها الحيوان وبيئته.

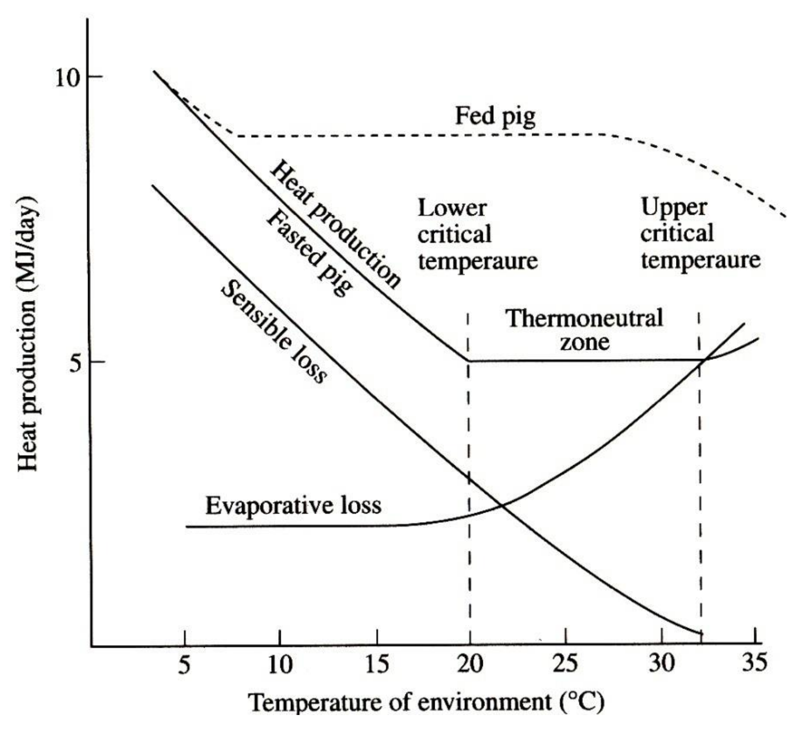
ويمكن توضيح طبيعة وفسيولوجية فقد الحرارة من حيوانات المزرعة من خلال خنزير تم وضعه تحت ظروف ثابتة وهي صيام و راحة وفي درجة حرارة هواء مريحة نحو 22°م (شكل 1.14خطوط متصلة). إنتاج الحرارة (وكذلك الفقد) لهذا الحيوان تكون 5 ميجا جول/يوم و يقسم تقريباً فقده من الحرارة بالتساوي بين قنوات الفقد البخري والمحسوس. وعندما تنخفض درجة حرارة الهواء تدريجياً سوف يكون الخنزير عرضة لفقد الحرارة بسرعة اكبر. ويستطيع مقاومة هذا التأثير إلى حد ما عن طريق خفض فقده البخري وربما كذلك بواسطة خفض تدفق الدم (ومن ثم تحوّل الحرارة) إلى سطح الجسم. ولعل الاستجابة الأخيرة سوف تقلل درجة حرارة الجلد ومن المحتمل أن تؤدي إلى أن يشعر الخنزير بالبرد . كلما استمر الانخفاض في درجة حرارة الهواء فقد يصل الخنزير إلى مرحلة يستطيع عندها أن

يحافظ على درجة الحرارة داخل جسمه بواسطة زيادة إنتاجه من الحرارة فقط ، و يمكن عمل ذلك عن طريق النشاط العضلي في حالة الارتجاف.

وتعرف درجة حرارة البيئة والتي يزداد قبلها إنتاج الحرارة بدرجة الحرارة الحرجة الدنيا " *Lower critical temperature* " للخنزير.

فإذا غذيت الخنازير بدلاً من تصويمها فإن إنتاجها للحرارة قد يزداد عن طريق الجرم الحراري للتغذية وسوف تنخفض درجة الحرارة الحرجة الدنيا لديها (انظر شكل 1.14 ، خط متقطع) ، وفي الحقيقة فإن الخنزير لم يكن مضطراً لزيادة إنتاجه من الحرارة حتى تنخفض درجة الحرارة البيئية إلى 7 ^{o} م.

لو أن هذه الخنازير عرَّضت لدرجة حرارة متزايدة فإنها ستجد صعوبة في فقد الحرارة عن طريق القناة المحسوسة وكان عليها زيادة الفقد البخري. وأخيراً فإن درجة الحرارة تكون قد وصلت إلى لحظة يحتاج عندها الخنزير إلى خفض إنتاجه من الحرارة وربما يتم ذلك بواسطة تحديد نشاطه العضلي وكذلك عن طريق خفض تناوله للغذاء . ولعل درجة الحرارة التي تضطر الحيوانات بعد تجاوزها إلى خفض إنتاجها من الحرارة تعرف درجة الحرارة الحرجة العليا *Upper critical temperature* ". كما يعرف المدى بين درجة الحرارة الدنيا والعليا بمنطقة الحرارة المعتدلة *Thermoneutral zone*.



شكل 1.14 تأثير درجة حرارة البيئة على إنتاج الحرارة في الخنزير.

ونستطيع الآن أن ننتقل من الوضع البسيط حيث تعرض الخنزير إلى متغير مُناخي واحد فقط وهو درجة الحرارة إلى حيوانات أخرى وأقاليم أخرى. درجات الحرارة الحرجة الدنيا لحيوانات وضعت في ظروف مختلفة أعطيت في جدول 4.14.

المجترات لديها منطقة حرارة معتدلة واسعة ودرجة الحرارة الحرجة الدنيا أقل من الخنزير (والدواجن) نظراً لاتساع قدرتها على تنظيم فقد الحرارة بواسطة البخر، أضف إلى ذلك أن الجرم الحراري للتغذية للمجترات أكبر (أي عوامل K أقل) من غير المجترات. كذلك تنتج المجترات حرارة بمعدَّل مستمر طوال النهار، بينما يميل الخنزير إلى هضم وتمثيل

أغذيته بسرعة وبعد ذلك يعاني من البرد عندما يكون الجرم الحراري قد تناقص. إمكانية أن الحيوانات الصغيرة حساسة أكثر للبرد لأنها تكون غالباً قليلة العزل ولكن تتجه إلى مواجهة هذا بارتفاع الأيض القاعدي لديها لكل وحدة من وزن الجسم. بالرغم من ذلك فإن درجة الحرارة الحرجة الدنيا لنعجة ناضجة (50 كجم) يكون أعلى من بقرة (500 كجم) وضعت في بيئة مماثلة (جدول 14 . 4). ويعتمد العزل عند الحيوان على الدهن الموجود تحت الجلد (الخنزير) أو عمق الغطاء (صوف الأغنام ، شعر الأبقار، ريش الدواجن). لذلك فإن النعجة التي جزَّت تكون معرضة للبرد حتى في الصيف وخاصة إذا حدد ما تناوله من غذاء. وتقلل الرياح العزل كما هو موضح في جدول (4.14) وترفع درجة الحرارة الحرجة. يزيد المطر فقد الحرارة بواسطة كل من خفض العزل وخلال حرارة البخر، غير أن تأثيراتها ليس مبينة في جدول 4.14، ولكن على سبيل المثال في نعجة بالغة وعمق الغطاء 50 مم فإن 30 مم من المطر في اليوم يستطيع أن يرفع درجة الحرارة الحرجة حوالي 2 – 6 ^{o} م.

ويكون سطح الأرضية في الخنازير المرباة داخل الحظائر هو المحدد لعزله وان لدى الخنازير الموجودة على تبن درجات حرارة حرجة أقل من تلك الموجودة على أرضية إسمنتية مجردة. ويمكن أن تتجمع مجموعة من الخنازير مع بعضها وبذلك تقلل مساحة السطح المعرضة وما تفقده من حرارة وكذلك درجات الحرارة الحرجة لديها.

جدول **4.14** بعض الأمثلة على درجات الحرارة الحرجة الدنيا (^{o} م) في حيوانات المزرعة عند بيئات مختلفة .

الحيوان	الحالة	التغذية أو مستوى الإنتاج	سرعة الرياح (كم/ ساعة)	
			0	15
أغنام : حمل	حديث الولادة	–	28	34
بالغة	بعد الجز مباشرة	صائم	31	35
	صوف، 50مم	صائم	22	28
		مستوى الحفظ	7	18
		لحد الشبع	– 10	5
	صوف، 100مم	لحد الشبع	– 40	–
أبقار : عجل	حديث الولادة	–	18	28
بقر لحم	تسمين	مستوى الحفظ	– 16	–3
	نامي غطاء الجلد، 30 مم	مع زيادة في الوزن 0.8 كجم/يوم	32 -	10 –
بقرة	لبن	مستوى الحفظ	8 -	10
	غطاء الجلد، 20مم	30 لتر لبن / يوم	30-	20 –
			الأرضية	
خنازير : أنثى	بالغة، 160 كجم	مستوى الحفظ	تبن 22	إسمنتية –
نامية	أفراد	مستوى مرتفع	14	19
40 كجم	مجموعة	مستوى مرتفع	7	13

ومن المحتمل أن تعاني حيوانات المزرعة التي من إجهاد البرد هي الحملان حديثة الولادة، العجول والخنازير، فهي صغيرة وعوازلها ربما تكون منخفضة لأنها تفتقد الدهن الموجود تحت الجلد أو يكون غطاؤها من الشعر أو الصوف ضعيفاً وكذلك فهي مبتلة عند ولادتها. إذا لم يتمكن الحيوان حديث الولادة من أن يرضع اللبن من أمه، فإن الجرم الحراري للتغذية عنده سيكون منخفضاً. العجل والحمل لهما نسيج خاص لتوليد الحرارة ويعرف

بنسيج الدهن البني. وتتواجد ترسبات من الدهن البني عند نقاط محددة في جسم الحيوان الصغير مثل الأكتاف والبطن.

تخزن كريات الدهن في خلايا نشطة أيضياً وفي النسيج المزود جيداً بالدم. فيكون عند تمثيل الدهن التأكسد غير المزدوج " Uncoupled " وتتحرر الطاقة كحرارة بدلاً من أخذها كمركب ATP. ويتم نقل الحرارة التي تولدت الآن إلى أعضاء الجسم الأخرى بواسطة الدم. إن التأثير الواقي لنسيج الدهن البني في الحيوانات الصغيرة يكون محدداً بمخزونها القليل من الدهن، ولهذا يكون ضرورياً على الحملان الصغيرة والعجول أن تتحصل على غذاء (أي على لبن) بمجرد ولادتها قدر الإمكان.

إن مقارنة درجة الحرارة الحرجة الدنيا للحيوان تدلنا على احتمالية حاجة الحيوان إلى مصدر إضافي من الطاقة لزيادة إنتاجه من الحرارة ولكنها لا تقرر لنا كيف يمكن أن توفر الطاقة أو بأي كمية. تكون الاستراتيجيات البديلة لمواجهة إجهاد البرد، أولاً بخلق البيئة الدافئة (أي عن طريق تطوير العزل في المباني أو خفض الجفاف)، ثانياً تمكن الحيوان من زيادة إنتاج الحرارة من مصادرة الموجودة (أي تمثيل مخزونات الدهن)، أو ثالثاً بزيادة إنتاج حرارة الحيوان بواسطة تحوير غذائه. الأخير ربما يظهر هو الإستراتيجية الغذائية المفضلة. في حالة الحيوانات المرباة في الحظائر فإن زيادة فقد الحرارة لكل تناقص 1^0 م في الحرارة تحت درجة الحرارة الحرجة يكون ثابتاً نوعا ما. لقد قدرت قيمة 18 ميجا جول/كجم وزن $^{0.75}$ / يوم للخنازير البالغة، لذلك عند وضع أنثى خنزير تزن 160 كجم (45 كجم وزن $^{0.75}$) على عليقة الحفظ (19 ميجا جول طاقة أيضية / يوم) وعند درجة حرارة 5 ^{o} م تحت درجة

حرارتها الحرجة (22 ^{o} م) فإن الفقد اليومي للحرارة عندها قد يكون فعليا 45 × 5 × 18 = 4050 كيلو جول (4.05 ميجا جول) أكبر من إنتاجها من الحرارة.

هذه الكمية حوالي 20 % من احتياجات الحفظ عند استخدام الطاقة الأيضية لمواجهة هذا النقص في إنتاج الطاقة فهي ستستغل بكفاءة 100 % (أي أن k = 1) وعليه فإن هذا الحيوان (The sow) يحتاج 4.05 ميجا جول إضافية لكل يوم لضمان اتزان الطاقة. الإستراتيجية البديلة ستكون بزيادة تناول الطاقة الأيضية إلى حد أبعد، إلى المستوى الذي يتمكن فيه الجرم الحراري (HI) من تغطية النقص في الحرارة. مثلاً لو أن $k_g = 0.7$ فإن أنثى الخنزير هذه ستحتاج 13.5 ميجا جول طاقة أيضية / يوم فوق احتياجاتها للحفظ والتي يمكنها أن تولد 4.05 ميجا جول كحرارة و 9.45 ميجا جول كطاقة محتجزة.

يُغذّى الدجاج البياض عادة لحد الشبع، لذلك فهو قادر على تنظيم ما يأكله من غذاء وطاقة لإنتاج الحرارة اللازمة للمحافظة على درجة حرارته. وعندما تنخفض درجة الحرارة البيئية تحت 25 ^{o}م فإن مأكولها اليومي من الطاقة الأيضية يزداد بحوالي 22 كيلو جول لكل انخفاض درجة مئوية واحدة (1 ^{o} م). في حالة طائر وزنه 1.8 كجم فإن هذا يعادل 14 كيلو جول/كجم وزن$^{0.75}$ (للمقارنة 18 كيلو جول؛ لإناث الخنازير): الإضافي من الطاقة الأيضية المستهلكة له تأثير بسيط على إنتاج البيض وبالتالي قد يبدو أن يستخدم لمجرد توليد الحرارة. بإمكان المزارع أن يستخدم حسابات من هذا النوع لتحديد ما إذا كان مجدياً اقتصادياً هو تزويد حرارة زائدة أو عوازل لمباني الدواجن أو غذاء إضافي للطيور. تكون زيادة فقد الحرارة الناتج من هبوط درجة مئوية واحدة في حرارة البيئة بالنسبة

للمجترات الموجودة في المباني (10 – 20 كيلو جول/كجم وزن$^{0.75}$ / يوم) ويمكن مقارنته بالقيم الخاصة بالخنازير والدواجن ولكنه أعلى بكثير (20 – 40 كيلو جول) للمجترات الموجودة في الهواء الطلق ومعرضة للرياح والأمطار، ومن المحتمل زيادة إنتاج الطاقة للمجترات بواسطة تغيير نوعية علائقها.

تكون قيمة k بالأعشاب ذات تركيز منخفض من الطاقة الأيضية منخفضة ولذلك يتولد عنها حرارة أكثر لكل وحدة مأكولة من الطاقة الأيضية مقارنة بالعلائق الغنية بالمركزات. وتكمن مشكلة الحيوان في المناخ الحار في كيفية التخلص من الحرارة التي ينتجها. لقد رأينا الآن (شكل 1.14) أنه بزيادة درجة حرارة الهواء ، فقد تفقد حرارة أقل عن طريق القنوات غير المحسوسة كالإشعاع و النقل والحمل الحراري وقد يكون الفقد الأكثر عن طريق البخر.

تتباين الأنواع المستأنسة بشكل كبير في فقد الحرارة بواسطة تبخر الماء . معظم الثدييات غير مجهزة تماماً بغدد العرق والطيور ليس لديها كما أن للأبقار من ناحية ثانية، القدرة على فقد كميات معتبرة من الماء والحرارة بواسطة هذه الغدد وخاصة أبقار المناطق الاستوائية (*Bos indicus*).

يمكن أن يزداد البخر خلال الماء السطحي المكتسب بواسطة الانغماس أو التمرَّغ ولكن المنفذ الرئيسي الذي يفقد بواسطته بخار الماء هو القناة التنفسية. المزارع عليه أن يساعد الحيوان لكي يفقد الحرارة وذلك عن طريق توفير الظل و التهوية، وربما برشاشات الماء. من ناحية أخرى، لو أصبحت هذه الأشياء وآليات فقد الحرارة الخاصة بالحيوان

مجهدة، فعلى الحيوان أن يخفض إنتاجه من الحرارة و سيكون هذا عن طريق تقليل غذائه وما يتناوله من طاقة. ويعني هذا أن الماشية عالية الإنتاج مثل الأبقار المدرة للبن هي أكثر تضرراً في المناطق الاستوائية بسبب عدم قدرتها على المحافظة على مستويات عالية من تناول الطاقة. وتكون عامةً المجترات متضررة في المناخ الحار باعتمادها على أعلاف ذوات جودة منخفضة حيث تستخدم الطاقة الأيضية بها بكفاءة منخفضة ومن ثم الجرم الحراري (HI) مرتفع.

احتياجات البروتين للحفظ Protein Requirements for Maintenance

عند وضع حيوان ما على عليقة خالية من النيتروجين ولكنها ملائمة فإنه يستمر في فقد النيتروجين في كل من الروث والبول . وينشأ نيتروجين الروث، كما نوقش سابقاً(الفصل 10) من خلايا وإنزيمات القناة الهضمية ومن البقايا الميكروبية. إذا استمر الحيوان في الأكل فإن عليه أن يواصل فقد النيتروجين بهذا النمط. وربما لم يتضح تماماً لماذا على الحيوان أن يفقد النيتروجين حتى وإن كان على غذاء خالٍ من النيتروجين ؟

ويمثل هذا الإخراج جزئياً نيتروجيناً كان قد تم دمجه في مواد استهلكت فيما بعد وليس من الممكن استعادتها في الجسم لإعادة استخدامها، وهكذا فإن الكرياتين (Creatine) في العضلات يتحول في النهاية إلى كرياتينين " creatinine " والذي يخرج في البول غير أن الجزء الأكبر من النيتروجين في بول الحيوانات التي لم تتحصل على نيتروجين في الغذاء هو (في الثدييات) في شكل يوريا، وهي الناتج الثانوي القياسي لهدم الأحماض الأمينية، والتي تنشأ من إعادة تحويل بروتينات الجسم والتي شرحت في الفصل 11.

يختلف معدَّل إعادة تحويل بروتينات الجسم بشكل كبير من نسيج إلى أخر؛ وتستبدل البروتينات عند فترات فاصلة قد تكون ساعات أو أيام في الأمعاء والكبد بينما في العظام والعصب هذه الفترة ربما تكون واحداً من الشهور أو حتى سنوات. إن الأحماض الأمينية المتحررة عند هدم بروتينات الجسم تشكل المجموع الذي تخلق منه البروتينات البديلة ؛ بناءاً على ذلك فإن حمضاً أمينياً معيناً قد يوجد ذات يوم في بروتين الكبد مثلاً واليوم التالي في بروتين العضلات. وفي الواقع فإن بروتينات الجسم تتبادل الأحماض الأمينية فيما بينها. من ناحية ثانية فإن هذا الممر الداخلي للأحماض الأمينية مثله مثل تصنيع بروتينات الجسم من الأحماض الأمينية الممتصة لا يكون ذو كفاءة كاملة. وقد لا تتمكن الأحماض المتحررة من بروتين ما من الدخول في البروتين الآخر ولكنها تهدم وتتحول المجموعة الأمينية بها إلى إنتاج اليوريا والتي بدورها تخرج في البول.

عندما يوضع الحيوان لأول مرة على غذاء خالٍ من النيتروجين فقد تهبط كمية النيتروجين في بوله تدريجياً ولعدة أسابيع قبل أن يستقر عند أقل مستوى، وعندما يعاد إدخال النيتروجين إلى الغذاء يكون هناك تباطؤ في إعادة ثبات التوازن. ولعل هذا يوحي بأن الحيوان يمتلك مخزوناً بروتينياً يمكنه أن يعتمد عليه في أوقات ندرة النيتروجين الغذائي ويجدد في أوقات الوفرة. وفي أوقات الندرة فإن الأنسجة الأكثر استنزافاً من البروتين هي تلك التي يكون البروتين بها قابلاً للتغير مثل الكبد. إن استنزاف نيتروجين الكبد يكون مصحوباً بشيء من النقص في نشاط الإنزيم ولذلك فإنه يمكن تصور مخزون البروتين كمخزون تشغيل و يتكون هذا من البروتينات السايتوبلازمية نفسها. وبمجرد استنزاف

البروتين المخزن في حيوان بدون نيتروجين غذائي فإن النيتروجين المخرج في البول يصل إلى أدنى مستوى ثابت تقريبياً.

(سيتم المحافظة علي هذا المستوى فقط في حالة تناول طاقة كافية، وفيما لو تم هدم بروتينات النسيج وخاصة لتوفير الطاقة فإن النيتروجين المخرج في البول سيرتفع من جديد). ويعرف النيتروجين الذي تم إخراجه عند هذا المستوى الأدنى يعرف بالنيتروجين البولي الداخلي وهو يمثل أصغر فقد في نيتروجين الجسم يتناسب مع استمرار بقاء الحيوان. لذلك يمكن استخدام إخراج النيتروجين الداخلي البولي (EUN) لتقدير النيتروجين (أو البروتين) المطلوب من قبل الحيوان لغرض الحفظ

" Maintenance ". إنه مناظر للأيض القاعدي وفي الحقيقة هناك علاقة بين الاثنين. التناسب العام المقبس هو 2 ملجم نيتروجين داخلي بولي / كيلو كالوري أيض قاعدي أي (حوالي 500 ملجم / ميجا جول). ومن ناحية أخرى، بالنسبة للمجترات البالغة فإن النسبة أقل تقديراً وهي نحو 300 – 400 ملجم نيتروجين داخلي بولي / ميجا جول من أيض الصيام. والسبب في هذا أن المجترات على غذاء خالٍ من أو ينقصه نيتروجين تكون قادرة على إعادة تدوير اليوريا إلى الكرش والأمعاء الغليظة وان النيتروجين يكون قد تم إخراجه في البول عند غير المجترات يتم إخراجه كنيتروجين في بقايا ميكروبية. وقد تم حساب النيتروجين الداخلي الكلي أو الأساسي المخرج (أي البولي + نيتروجين الروث) في المجترات على أنه 350 ملجم نيتروجين / كجم وزن$^{0.75}$ / يوم، وهو يعادل 1000– 1500 ملجم لكل ميجا جول من أيض الصيام؛ وبناءاً على ذلك فهو أكبر من 2 - 3 مرات مما في غير

المجترات. وعندما يعاد إدخال النيتروجين للغذاء تزداد كمية النيتروجين المخرجة في البول من خلال فقد الأحماض الأمينية المعرّضة للاستغلال في بروتين الغذاء. ويعرف نيتروجين البول الزائد عن البروتين الداخلي بالنيتروجين الخارجي البولي. ويوحي هذا الاسم بأن ذلك النيتروجين من أصل غذائي وليس منشؤه الجسم، ولكن باستثناء جزء من الكرياتينين في البروتين الداخلي فمن غير المؤكد ما إذا كان هذا التقسيم الضيق جديراً بالثقة. الأكثر واقعية هو اعتبار ما يعرف بالجزء الداخلي كامتداد للفقد الواقع في النيتروجين وليس كمصدر إضافي للفقد، وعليه فمن المحتمل أن يعكس وبالدرجة الأولى زيادة في إعادة تحّول وهدم الأحماض الأمينية. إن كمية النيتروجين أو البروتين المطلوبة للحفظ هي تلك التي سوف توازن الفقد الأيضي للنيتروجين في الروث والبولي الداخلي (كذلك الفقد الجلدي القليل للنيتروجين والذي يحدث في قشرة الرأس ، الشعر والعرق). اثنان من الطرق المتبعة والأكثر شيوعاً لتقدير هذه الكمية هي مناظرة لتلك المستخدمة لتحديد كمية الطاقة المطلوبة للحفظ.

الأولى مناظرة لتحديد أيض الصيام وتتضمن قياس ما يفقده الحيوان من نيتروجين عند تغذيته على غذاء خالٍ من النيتروجين ومن ثم حساب كمية نيتروجين الغذاء المطلوبة لتوازن هذا الفقد. وتحدد في الطريقة الثانية كمية نيتروجين الغذاء مباشرة بواسطة إيجاد أدنى تناول ينتج توازناً للنيتروجين. هذه الطريقة مماثلة لتلك التي استخدمت لتقدير احتياجات لطاقة للحفظ.

تقدير احتياجات البروتين للحفظ في المجترات من فقد النيتروجين الداخلي

(**الطريقة العاملية**)

Estimating Protein Requirements for Maintenance of Ruminant From Endogenous Nitrogen Losses (The Factorial Method)

إن نقطة البداية في الحساب العاملي للمجترات هو إخراج النيتروجين الداخلي الأساسي. عند 350 ملجم نيتروجين / كجم وزن$^{0.75}$ / يوم لبقرة تزن 600 كجم سيكون هذا 42.4 جم نيتروجين/ يوم. وسوف يضيق الفقد عن طريق الجلد (المتعلق بالبشرة) للنيتروجين في الشعر وقشرة الرأس حوالي 2.2 جم نيتروجين / يوم ليعطي إجمالي 44.6 جم نيتروجين أو 279 جم ببروتين. في نظام تقييم البروتين الأيضي الذي تمت الإشارة إليه في الفصل 13، البروتين الممتص من الأمعاء (البروتين الأيضي MP) اعتبر بأنه مستخدم للحفظ بكفاءة 1.0، وهكذا فإن البروتين الأيضي المطلوب لبقرة تزن 600 كجم ولغرض الحفظ فهو أيضا 279 جم/يوم. من المحتمل أن هذا البروتين ينحدر من البروتين الميكروبي " Microbial Crude Protein ; MCP". عندما يتم عمل المسموح به فإن حصة البروتين الحقيقي في البروتين الميكروبي (0.75) وان الهضم الحقيقي لهذا البروتين الحقيقي (0.85)، تكون الاحتياجات للبروتين MCP هي:

279 /(0.75 × 0.85) = 438 جم/يوم.

تعتمد كمية البروتين الخام الميكروبي (MCP) الناتجة في الكرش على كمية المادة العضوية المتخمرة ومن ثم على كمية الطاقة الأيضية القابلة للتخمر (Fermentabe Metabolizable Energy). وقدَّرت العلاقة في حالة الأبقار عند مستوى الحفظ بأنها 9 جم MCP/ ميجا جول من الطاقة الأيضية القابلة للتخمر (FME). وهكذا لو أن

المأكول من الطاقة الأيضية القابلة للتخمر لبقرة كان 55 ميجا جول (وهو يعادل تقريباً احتياجاتها من الطاقة للحفظ)،فإن كمية البروتين الخام الميكروبي التي توفرت تصبح

55 × 9 = 495 جم. ومن هنا فإن البروتين الميكروبي وحده (أي بدون مساهمة أي بروتين مهضوم من الغذاء وغير متحلل في الكرش، DUP) سيكون كافياً تماماً لتغطية احتياجات الحفظ. وفي الحقيقة فإن الشائع في حالة المجترات إن الغذاء الذي يغطي احتياجات الطاقة للحفظ للحيوان وكذلك احتياجات الكائنات الحية الدقيقة من البروتين أو النيتروجين سوف يغطي أيضا احتياجات الحيوان للبروتين لغرض الحفظ.

و ربما تكون الخطوة النهائية في الحساب هي تقدير أدنى محتوى من البروتين في غذاء البقرة. كلما كان البروتين الميكروبي ومن ثم احتياجات الكائنات الحية الدقيقة للبروتين أكبر من احتياجات الحيوان فيجب أن يحتوي الغذاء على كمية كافية من البروتين الفعال و المتحلل في الكرش Effective Rumen Degradable Protein (ERDP) لأجل الكائنات الحية الدقيقة. ويجب أن يحتوي الوضع المثالي أن الغذاء بروتيناً متحللاً تماماً. لو أن الغذاء احتوى على 8 ميجا جول / طاقة أيضية قابلة للتخمر / كجم مادة جافة، فإن الكمية المطلوبة يفترض أن تكون 55 / 8 = 6.9 كجم/كجم مادة جافة، وهكذا فإن تركيز البروتين الفعال المتحلل في الكرش (ERDP) ينبغي أن يكون

495 / 6.9 = 72 جم / كجم مادة جافة. إن سيلاج الأعشاب ذو النوعية المنخفضة أو المتوسطة يمكن أن يغطي هذه المواصفات. و ينبغي عند معدّل منخفض المرور من الكرش (0.02) المتوقع أثناء مستويات المأكول للحفظ أن تكون قابلية تحلل بروتين السيلاج حوالي

0.7، ولذلك فإن أدنى محتوى للبروتين في السيلاج يجب أن يكون 72 / 0.7 = 102 حم / كجم مادة جافة. يجب أن يوفر الغذاء أيضا حوالي 15 جم/كجم من البروتين المهضوم غير المتحلل (DUP)، بالرغم من أن الحيوان قد لا يحتاج هذا لغرض الحفظ . كما تبني الأنظمة البروتينية الأخرى للمجترات (مدرجة في الفصل 13)، تقديراتها لاحتياجات الحفظ على المفقودات الداخلية من النيتروجين ولكن تستخدم عوامل مختلفة لتحويل هذه المفقودات الداخلية إلى احتياجات غذائية. من ناحية ثانية فإن النتيجة النهائية قد لا تختلف كثيراً. لذلك ففي النظام الفرنسي (البروتين المهضوم في الأمعاء PDI)، تكون احتياجات الحفظ اليومية من البروتين لبقرة تزن 600 كجم محددة بنحو 395 جرام من البروتين المهضوم في الأمعاء PDI، وهي غير بعيد من القيمة المحسوبة أعلاه وهي 436 بروتين أيضي.

تقديرات بديلة لاحتياجات الحفظ من البروتين

Alternative Estimates of Protein Requirements for Maintenance

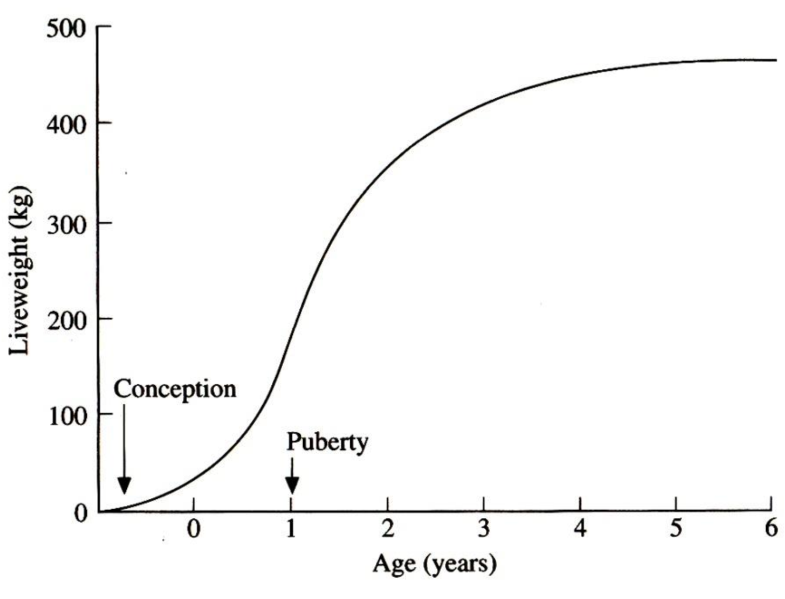
تصاغ احتياجات الحفظ والإنتاج في حالة الخنازير والدواجن عادة من البروتين مع بعضها، ومع ذلك من الممكن حساب احتياجات هذه الحيوان للحفظ على حده من المفقودات من النيتروجين الداخلي. وعلى سبيل المثال فقد قدَّر مجلس البحوث الزراعية بالمملكة المتحدة (The UK Agricultural Research Council) بان الفقد الإجباري للنيتروجين في إناث الخنازير يمكن أن يُغطي بتوفير 0.90 جم فقط من البروتين المثالي المهضوم (انظر الفصل 13) لكل كجم وزن$^{0.75}$ / يوم. أي أن 36.6 جم لأنثى خنزير تزن 140 كجم). وتكون الطريقة البديلة لتقدير الاحتياجات من البروتين للحفظ بتغذية حيوانات على مدى من أغذية متنوعة في محتواها من البروتين ، وقياس توازن النيتروجين بها. ولعل أقل مستوى للبروتين الغذائي والذي يعزِّز ميزاناً نيتروجينياً قريباً من الصفر هو مستوى الحفظ.

نمو الحيوان والتغذية : المقاييس الغذائية وإنتاج الصوف

Animal growth and nutrition: feeding standards for growth and wool production

إن أبسط مظهر للنمو في حيوانات المزرعة هو زيادتها في الحجم والوزن. وتبدأ كل الحيوانات حياتها كخلية مفردة لا تزن شيئاً من الناحية العملية، ثم تنمو لتصل إلى أوزان النضج التي تتراوح من 2 كجم لدجاجة بيض إلى 1000 كجم أو أكثر للطلوقة. ويمكن تمثيل النمو الذي تنمو به الحيوانات من الإخصاب إلى النضج بمنحنى بياني (شبيه

بحرف S)، كما هو موضح في شكل (14 . 2) ويتسارع معدَّل النمو خلال الفترة الجنينية ومن الولادة حتى البلوغ ؛ أما بعد البلوغ فإنه ينخفض ويصل إلى قيمة منخفضة جداً كلما اقترب من وزن النضج. ومن ناحية عملية فإن مظاهر بيئة الحيوان وخاصة التغذية تجعل النمو يحيد عن المنحنى البياني المذكور. وقد تعيق فترات ندرة الغذاء (البرد أو مواسم الجفاف) النمو، أو تؤدي أيضاً بالحيوان لفقد وزن، بعد ذلك فإن فترات وفرة الغذاء سوف تمكن الحيوان من النمو بسرعة. وبصفة عامة، الحيوانات الموجودة تحت ظروف ما يعرف بالرعاية المكثفة سوف تتخذ منحنى النمو الموضح في شكل 2.14 بينما سوف تتخذ تلك الموجودة تحت الظروف الطبيعية (غير المكثفة) منحنيات متقطعة، ومعدَّلاتها الكلية للنمو أقل من النمط المثالي. عندما تنمو الحيوانات فهي ليست ببساطة زيادة في الحجم والوزن ولكنها تظهر أيضاً ما يسمى بالتطور، ونقصد بهذا أن الأعضاء المختلفة في الحيوان تتحدد كمكونات تشريحية (مثلاً الأرجل)، كأعضاء (مثلاً الكبد) أو كأنسجة (مثلاً العضلة) تنمو بمعدلات مختلفة وعليه فإن



شكل 2.14 المنحنى الأسّي النموذجي وكما يظهر لأبقار اللبن

أجزاء الحيوان تتغير كلما نضج. مثلاً في الماشية يكون الرأس كبير نسبياً عند الولادة مكوناً 6.2 % من وزن جسم من 40 كجم، ولكن عندما يصل العجل 100 كجم، يشكل الرأس 4.5 % فقط من وزن الجسم، وتستمر النسبة في تناقص حتى يصل الحيوان إلى النضج. وقد قام السير: جون هاموند (Sir) John Hammond بجامعة كامبردج منذ أكثر من خمسين سنة مضت بوصف تطور الحيوانات المزرعية بأنه سلسلة من تموجات النمو. وعند تناول الأنسجة الرئيسية كمثال في بداية الحياة (يشمل حياة ما قبل لولادة). فإن أنسجة العصب والعظم لها أولوية من العناصر الغذائية المتاحة وتنمو بسرعة، ويكون للعضلة فيما بعد أولوية وأخيراً ينمو النسيج الدهني بسرعة أكثر. عندما يكون النمو سريعاً فإن التموجات سوف

تتداخل، على سبيل المثال، يبدأ الحيوان السريع النمو حيث يبدأ بتكوين ترسبات دهنية في وقت مبكر نوعاً ما في حياته على الرغم من أن نمو العضلة ما زال في تقدم. ويتداخل نمو الحيوان وتغذية الحيوان أحدهما مع الآخر بمعنى أن كلاً منهما يمكن أن يؤثر في الآخر.

إن نمط نمو الحيوان يحدد احتياجاته من العناصر الغذائية وبالمقابل فإنه تعديل نمط نمو الحيوان بتحوير تغذيته. المظهر الآخر من التداخل هو أن نمط نمو الحيوان يحدد مكونات ناتج النمو و اللحم وبذلك يؤثر في مستهلك اللحم (الإنسان).

عند تغذية حيوانات لإنتاج اللحم يهدف المزارع عادة لينتج ذبائح تلائم مواصفات خاصة للوزن والمكونات. ومن ناحية أخرى ربما تحتاج الحيوانات المستخدمة لأغراض أخرى كالتكاثر أو اللبن أو إنتاج البيض أن تتبع نمط نمو يختلف عن حيوانات اللحم. ولعل الهدف الأساسي من هذا الجزء من الفصل هو توضيح كيف تحدد الاحتياجات من العناصر الغذائية للنمو وكيف يمكن أن تختلف تبعاً لطبيعة الحيوان والغرض الذي تم تربيته من أجله. يوضح الهدف الثانوي كيفية تحوير نمو الحيوان وتطوره عن طريق التحكم في التغذية. بالرغم من أن النمو يبدأ اعتباراً من الإخصاب والذي يحدث في الرحم (أو في بيض الطيور) يشكل موضوعاً متخصصاً يغطي في الفصل القادم. ويتعلق هذا الجزء كلياً بالنمو بعد الولادة.

النمو الكيميائي Chemical growth

بالرغم من إمكانية قياس النمو والتطور بلغة أجزاء، أعضاء وأنسجة الجسم فإن الاهتمام الأساسي لمختص التغذية هو نمو المكونات الكيميائية للجسم، وبما أن هذا يحدد احتياجات الحيوان من العناصر الغذائية. وتتحد المكونات الكيميائية الكلية للحيوان، بروتين، ماء ورماد (بالإضافة إلى كميات قليلة من الدهون الضرورية كالدهون الفوسفورية ومن الكربوهيدرات كالجلايكوجين)، بنسب ثابتة تقريباً لتشكل كتلة الجسم العضلية " Lean body mass " التي أشير إليها سابقاً. ويحتوى الحيوان أيضاً على نسب مختلفة من الدهن المخزن (يتم تحديد الدهن كمستخلص إيثر). وغالباً ما يساهم محتوى الطاقة في الجسم فيه ويشكل كلى عن طريق الطاقة المتضمنة في البروتين والدهن. يحمل الجسم معه بالإضافة إلى هذه المكونات المتكاملة، مكونات عرضية متباينة من محتويات القناة الهضمية والمثانة. و يمكن التحقق من نمو كل هذه المكونات بواسطة ذبح وتحليل الحيوانات عند مراحل متتابعة من النمو. ويوضح شكل 3.14 نتائج تحليل أعداد كبيرة من بيانات مكونات جسم الأبقار، وقد رسمت أوزان مكونات الجسم بيانياً مقابل ما يعرف بوزن الجسم الفارغ للحيوان وهو الوزن الحي مطروحاً من المحتويات العرضية للقناة الهضمية والمثانة. ويوضح شكل 3.14 أنه بزيادة وزن الجسم الفارغ تزداد أوزان كل المكونات الكيميائية، ولكن عند معدلات مختلفة.

ويترسب الدهن بمعدل متزايد ومكونات الجسم العضلية (مثلث في شكل 3 . 14 بالبروتين) بمعدلات متناقصة. و يتخذ محتوى الطاقة في الجسم منحنى مماثلاً لمحتوى الدهن

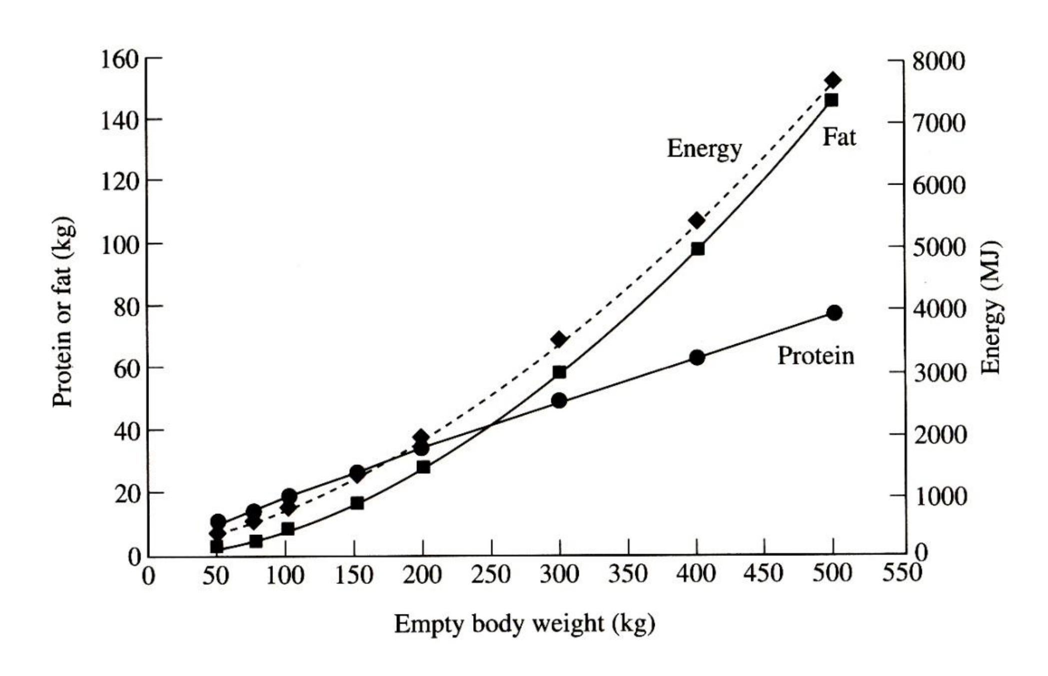
ويبدو أن علاقة كل مكون و وزن الجسم الفارغ تشكل خطاً منحنياً. ويمكن من جهة ثانية عند التعبير عن كل الأوزان كلوغاريثمات أن توصف العلاقات بخطوط مستقيمة.

وتكون معدلات العلاقات اللوغاريثمية في شكل:

$$\text{Log } y = \log b + a \log x$$

حيث (y) = وزن المكون وان (x) = وزن الجسم الفارغ. الصيغة الجبرية لهذه المعادلة هي:

$$y = b \cdot x^{a}$$



شكل 3.14 نمو البروتين، الدهن والطاقة في الأبقار(رسمت من بيانات هيئة البحوث الزراعية 1980، احتياجات المواشي المجترة من العناصر الغذائية)
(Franham Royal, UK, Commonwealth Agricultural Bureaux)

وتعرف مثل هذه المعادلات بـ " allometric equation " وقد وضعت بواسطة J.S. Huxley سنة 1932. ويعرف المعامل (a) بمعامل النمو، وهو مقياس لمعدل نمو العضو نسبة إلى معدل نمو الحيوان ككل. إذا كانت لديها قيمة أكثر من الوحدة، فإن العضو في حالة نمو أسرع من الكل وتكون مساهمة الجزء إلى الكل في زيادة، ويشار إلى ذلك العضو بأنه جزء من الجسم متأخر النمو وبالمقابل عندما يكون معامل نموه أقل من الوحدة يقال بأن العضو مبكر النمو.

جدول 5.14 مكونات الزيادة في الوزن الفارغ (EBW) نتجت عن أبقار ذكور مخصيه من سلالة ذات حجم متوسط .

(From Agricultural Research Council 1980 *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock* Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal)

وزن الجسم الفارغ (كجم)	البروتين (جم/كجم)	الدهن (جم/كجم)	الطاقة (ميجا جول/كجم)
50	181	86	7.65
100	167	148	9.76
150	160	204	11.80
200	155	256	13.72
300	148	353	17.36
400	144	442	20.77
500	140	527	24.01

المعادلات:

لو$_{10}$ البروتين = 0.8893 × لو$_{10}$ EBW – 0.5037

لو$_{10}$ الدهن = 1.788 × لو$_{10}$ EBW – 2.657

الطاقة = 23.6 × البروتين + 39.3 × الدهن.

تفاضل المعادلات التي تعكس نسبة وزن الجزء إلى الكل allometric equation يسمح بتحديد مكونات الزيادة في وزن الجسم الفارغ لأي وزن معين في الجسم أو مدى من وزن الجسم. ويبين الجدول 5.14 هذا الإجراء عندما تطبقه مع بيانات استخدمت لاستنتاج شكل 3.14. ويوضح الجدول أنه عندما ينمو الحيوان، فإن زيادته في الوزن تتغير تبعاً لتموجات هاموند للنمو " Hammond 's growth waves ". وتتكون الزيادة الوزنية أساساً في الفترة المبكرة للحياة من الماء و بروتين ومعادن (رماد) المطلوبة لنمو العظم والعضلة ؛ فيما بعد و هذه الزيادة الوزنية تتضمن زيادة حصة الدهن (وكنتيجة لذلك يزداد محتواها من الطاقة).

يمكن أن تستعمل allometric equation بطريقة أخرى لدراسة النمو. قد يتوسع نطاق المكونات الكيميائية ليشمل على سبيل المثال الأحماض الأمينية الفردية أو العناصر المعدنية وبتحاليل مستخدمة لتحدد الاحتياجات لهذه العناصر.

بالرغم من أن المحدد الأساسي لتركيب زيادات الوزن في الحيوان ومن ثم فإن احتياجاتها من العناصر الغذائية للنمو هي أوزان أجسامها، فإن هناك عوامل أخرى قد تؤثر في تركيب زيادات الوزن. نوع الحيوان هي عامل واضح ففي حالة وزن معين نجد الأنواع الصغيرة (أنواع ذات وزن نضج منخفض) وستكون عند مراحل متقدمة من النمو والنضج أعلى بكثير من الأنواع الكبيرة. مثلاً، عند 60 كجم وزن حي يكون للأغنام زيادات في

الوزن تحتوي 500 جم/كجم دهن، بينما يكون للأبقار زيادات في الوزن تحتوي فقط 75جم/كجم ، وقد تم توضيح مكونات الزيادات الوزنية لأنواع عديدة في جدول 6.14 .

جدول 6.14 محتوى الطاقة ونسبة المكونات في الزيادات الوزنية المنتجة بواسطة حيوانات مختلفة الأعمار والأوزان الحية.

الحيوان	الوزن الحي (كجم)	العمر	مكونات الزيادة الوزنية (جم/كجم)				
			الماء	البروتين	الدهن	الرماد	م.خ.ن*
دجاج (بداري سلالة White Leghorn نمو بطئ)	0.23	4.4 أسبوع	695	222	56	39	6.2
	0.7	11.5اسبوع	619	233	86	37	10.0
	1.4	22.4 أسبوع	565	144	251	22	12.8
أغنام (نعاج سلالة Shropshire)	9	1.2 شهر	579	153	248	22	13.9
	34	6.5 شهر	480	163	324	31	16.5
	59	19.9 شهر	251	158	528	63	20.8
خنزير(إناث نوع Duroc-Jersey)	23	-	390	127	460	29	21.0
	45	-	380	124	470	28	21.4
	114		340	110	520	24	23.3
أبقار(عجلات سلالة Holstein)	70	1.3 شهر	671	190	84	-	7.8
	230	10.6 شهر	594	165	189	-	11.4
	450	32.4 شهر	552	209	187	-	12.3

* م.خ.ن: المستخلص الخالي من النيتروجين

عندما تختلف الأنواع الصغيرة والكبيرة في زياداتها الوزنية يبدو من المحتمل أن نجد في داخل النوع أن السلالات الأصغر تنتج زيادات وزنية تختلف في التركيب عن الزيادات الوزنية في السلالات الأكبر. ويمثل الجدول 7.14 تلك الحقيقة في الأبقار . ويبدو أن المحدد الحقيقي لتركيب الزيادات الوزنية ليس هو وزن الجسم المطلق ، ولكنه وزن الجسم نسبة إلى الوزن الناضج للحيوان. هذه النظرية مدعمة بتأثيرات الجنس على تركيب الزيادات الوزنية (أيضا موضحة في جدول 7.14). تكون الإناث عند النضج أصغر حجماً من الذكور وبالتالي عند وزن موحد فهي تنتج زيادات وزنية بها أكثر دهن وطاقة. وتميل الذكور المخصية إلى كونها متوسطة بين الذكور والإناث.

العامل الأخير والمؤثر في تركيب الزيادات الوزنية هو المعدل العام لنمو الحيوان، من نظرية النمو النموذجي، يبدو على الأرجح أن الحيوانات غير الناضجة وفي حالة توفر عناصر غذائية محدودة للنمو وبالتالي تنمو ببطء، ستستغلها في نمو العضلة، بينما ستخزن الحيوانات التي لديها عناصر غذائية متاحة أكثر دهناً أيضاً. وبناء على ذلك فمن المحتمل أن محتوى الدهن (جم/كجم) في زيادة وزنية لخنازير تنمو بمعدل 0.9 كجم/يوم يكون أكبر من خنازير تنمو عند 0.3 كجم/يوم. هذا هو الوضع بصفة عامة وبالرغم من أن التأثير يكون بسيطاً في الحيوانات غير الناضجة تماماً أو الحيوانات ذوات التراكيب الوراثية المنتجة لترسب دهن محدد.

جدول 7.14 الفروق بين السلالات وبين الجنسين في مكونات جسم الأبقار عند 300 كجم وزن جسم فارغ.)

Calculated from the data of Ayala H J 1974 PhD thesis, Cornell University, Ithaca, NY, USA)

المكوّن	السلالة	الجنس		
		ذكر	ذكر مخصي	أنثى
البروتين (جم/كجم)	**Aberdeen Angus**	**172**	**161**	**150**
	Holstein	**186**	**187**	**167**
الدهن (جم/كجم)	**Aberdeen Angus**	**190**	**227**	**314**
	Holstein	**136**	**172**	**213**

احتياجات الطاقة للنمو Energy Requirements for Growth

المجترات Ruminants

قامت هيئة البحوث الزراعية بالمملكة المتحدة بتحليل بيانات أعداد كبيرة من الأبقار والأغنام التي تم ذبحها عند أوزان وأعمار مختلفة وخضعت لفحص طبيعي وتحليل كيميائي؛ وقد تم توضيح بعض من نتائج التحليل في الشكل 3.14 وفي الجدول 5.14. بالنسبة للأبقار فقد أمكن تقديرها محتوى الطاقة في الزيادات الوزنية الناتجة من قبل ذكور مخصيه من سلالة ذات حجم متوسط بالمعادلة التالية:

$$EV_g = (4.1 + 0.0332 W - 0.000009 W^2) / (1 - 0.1475 \Delta W)$$

حيث: EV_g = قيمة الطاقة في زيادة الوزن الحي، ميجا جول/كجم؛ W = الوزن الحي ، كجم و ΔW = الزيادة في الوزن الحي، كجم/يوم.

ويصف المصطلح الأول في المعادلة والموجود بين الأقواس زيادة محتوى الطاقة في الزيادة الوزنية كلما زادت الأبقار في الحجم، و يتيح المصطلح الثاني تصحيح الزيادة في محتوى الطاقة كنتيجة لسرعة الزيادات في الوزن الحي. لذلك فإن الحيوان الذي يزن 100 كجم يزيد 0.5 كجم/يوم يتوقع أن له زيادات وزنية محتوية على 7.9 كجم ميجا جول/كجم، بينما حيوان وزنه 500 كجم وينمو بنفس المعدل تكون له زيادات وزنية محتوية على 19.9 ميجا جول/كجم. وتكون القيم المناظرة لحيوانات تنمو بمقدار 1.0 كجم/يوم هي 8.6 و 21.6 ميجا جول/كجم على التوالي. لكي تؤخذ تأثيرات السلالة والجنس على محتوى الطاقة بعين الاعتبار وضع مجلس البحوث الزراعية معامل تصحيح بسيط وهو 15 %. وهكذا تكون القيمة المتوقعة للسلالات الصغيرة (مبكرة النضج) عند تطبيق المعادلة السابقة متزايدة بنحو 15 % و تكون للسلالات الكبيرة متناقصة بنحو 15 %. وتزداد بطريقة مماثلة القيمة للإناث نحو 15 % وللذكور (الطلائق) تتناقص بنحو 15 %. وبالتالي فإن أنثى تزن 500 كجم من سلالة صغيرة تنمو بمعدل 0.5 كجم/يوم يتوقع أن تنتج زيادات وزنية تساوي 19.9 × 1.15 × 1.15 = 26.3 ميجا جول/كجم. وقد أظهرت بيانات الأغنام التي تم فحصها عن طريق مجلس البحوث الزراعية تأثيرات كبيرة للجنس على قيمة الطاقة في الزيادات الوزنية ولكن تأثيرات صغيرة فقط للسلالة

(الميرينوز Merinos تميل بامتلائها دهناً أكثر وبالتالي طاقة أكثر في زياداتها الوزنية مما في السلالات الأخرى)، وبذلك يكون تأثير معدل الزيادة الوزنية غير معنوي. وقد كانت المعادلة المقتبسة للجنسين:

ذكور مخصيه: $EV_g = 4.4 + 0.35\ W$

الإناث: $EV_g = 2.1 + 0.45\ W$

الذكور: $EV_g = 2.5 + 0.35\ W$

وتتنبأ هذه المعادلات بمحتوى الطاقة لزيادات الوزن الحي في حملان تزن 30 كجم، على سبيل المثال ستكون 14.9 ميجا جول/كجم للذكور المخصية، 15.6 للإناث و 13.0 للذكور.

واستعملت المعادلات السابقة للأبقار والأغنام في النسخة الحديثة لمجلس البحوث الزراعية 1980، ARC مقاييس التغذية للمجترات، وهي النسخة التي أوصت بها اللجنة الفنية المختصة بالاستجابات للعناصر الغذائية (انظر القراءات الإضافية). وقد استخدمت اللجنة الاسترالية القائمة على الزراعة والمقاييس التي اقترحتها في 1990، طريقة صريحة لتتمكن من التنبؤ بمحتوى الطاقة في الزيادات الوزنية عن طريق معادلة مفردة لكل من الأغنام والأبقار ولأي جنس ولمعظم السلالات ولأي معدَّل في الزيادة الوزنية. أساس هذه الطريقة هو تخصيص مقياس وزني مرجعي " *standard reference weight*, SRW " لكل نوع حيوان والذي يعرف بالوزن الحي الذي يمكن تحقيقه بذلك الحيوان عند اكتمال التطور الهيكلي ويحتوي الجسم الفارغ 250 جم دهن/كجم. إنه وزن ناضجٍ كافٍ لإعطاء نتائج وليس الوزن الأعلى، لذلك فإن (SRW) يختلف بين السلالات وكذلك بين الجنسين، فعلى سبيل المثال خصص لأبقار الفريزيان " Friesian " SRW حوالي 550 كجم للإناث و 660 للذكور المخصية و 770 كجم للذكور غير المخصية.

فيما يتعلق بمعادلة التنبؤ، المتغير الرئيسي هو الوزن الحالي للحيوان كنسبة إلى مقياس وزنه المرجعي " SRW "، المتغير الثاني ينظم محتوى الطاقة في الزيادة الوزنية بالقياس إلى الزيادة الوزنية (و يعرّف هذا أيضاً بأنه نسبة من المقياس الوزني المرجعي). بالرغم من أن المعادلة برهنت على أنها ملائمة لجميع سلالات الأغنام ومعظم سلالات الأبقار فقد كان من الضروري تعديلها للسلالات الأوربية من الشارولية والسيمينتال Charolais and Simmental. وتكون هذه السلالات قادرة على تكوين زيادات وزنية غالباً قليلة في الدهن وبالتالي في محتوى الطاقة.

الخنازير Pigs

استنبط مجلس البحوث الزراعية بالمملكة المتحدة مقاييس تغذية الطاقة للخنازير النامية بواسطة استخدام نموذج عاملي، وصمم النموذج أساساً للتنبؤ بالأداء (أي التنبؤ بمعدَّل النمو لمأكول محدد من الطاقة). العوامل المثبتة في النموذج هي احتياج مفترض للحفظ في حدود 0.639 ميجا جول طاقة أيضية/ كجم وزن$^{0.75}$ /يوم واحتياجات للبروتين وترسيب دهن حوالي 42.3 و53.5 ميجا جول/يوم، على التوالي. (حيث أن البروتين والدهن تحتوى 23.7 و39.6 ميجا جول طاقة كلية، فإن الكميات السابقة تكافئ قيم K_p وK_f يحدد 0.56 و0.74 على التوالي). العوامل المتغيرة في النموذج هما النيتروجين المحتجز في الخنزير ومن ثم تجزئة الطاقة المخزنة بين البروتين والدهن . مثلا، خنزير وزنه 60 كجم له إمكانية متوسطة اعتبر أنه يحتجز 31 جم/يوم عند التغذية إلى مستوى الحفظ، إضافة إلى 4.43 جم لكل 1 ميجا جول طاقة أيضية زائدة عن احتياجات الحفظ. لو أن تناوله من

الطاقة الأيضية كان 25 ميجا جول/يوم فإن ما يرسبه من بروتين ومن دهن يمكن التنبؤ به كما يلي:

المأكول من الطاقة الأيضية	25.0 ميجا جول/يوم.
الطاقة الأيضية للحفظ ($0.639 \times 60^{0.67}$)	9.9 ميجا جول/يوم.
الطاقة الأيضية للإنتاج	15.1 ميجا جول/يوم.
بروتين مرّسب (31 + 4.43 ×15.1)	98.0 جرام (0.1 كجم) .
طاقة أيضية مستخدمة للبروتين (42.3 × 0.1)	4.23 ميجا جول .
طاقة أيضية مستخدمة للدهن (15.1 − 4.23)	10.87 ميجا جول.
دهن مرّسب (10.87 ÷ 53.5)	0.203 كجم .

يمكن تقدير وزن العضلات lean tissue المترسبة من واقع محتواه من البروتين (213 جم/كجم) وذلك يصبح 98 / 0.213 = 460 جم (0.46 كجم)

بناءاً على ذلك فإن الزيادة الكلية في الجسم الفارغ هي 0.46 + 0.21 = 0.67 كجم/يوم. ويتم حساب محتوى الطاقة في الزيادة ليصبح:

(0.1 × 23.7) + (0.20 × 39.6) = 10.3 ميجا جول أو 15.4 ميجا جول/كجم.

للاستخدام العملي، فإن المعلومات المتوفرة من نموذج من هذا النوع ربما تستخدم في استنباط مقاييس غذائية لخنازير تمكنت من النمو سريعا بدون إفراط في ترسيب الدهن. تم تحقيق النمو الأسرع بتمكين الخنازير من الأكل بشهيتها، و تستطيع بعض أنواع الخنازير الأكل بالشهية من الولادة حتى الذبح عند وزن اللحم " become weight " 90

كجم بدون تخزين كثير من الدهن. ومن ناحية أخرى يجب تحديد المأكول من الغذاء في عدة خنازير خلال نموها حينما تصل 45 كجم عند الرغبة في الحصول على ذبيحة ذات لحم ملائم . بناءاً على ذلك ، استنبطت مقاييس تغذية تشترط إعطاء كميات من الغذاء أو الطاقة المهضومة عند مختلف الأوزان الحية. ويحتوي المقياس المثالي لغذاء 13.5 ميجا جول طاقة مهضومة / كجم يمكن رفعه تدريجياً من 1.2 كجم عند وزن حي 20 كجم إلى 2.2 كجم عند وزن حي 50 كجم والى 2.4 كجم عند 90 كجم . ويعمل مثل ذلك التحديد في المأكول من الغذاء على انخفاض معدل النمو، ولكنه يخفض محتوى الدهن في الذبيحة ويجعلها مقبولة أكثر لتمليح اللحم وتقديده.

الدواجن Poultry

مع إمكانية استثناء الطيور التي تم تنشئتها للتربية (انظر الفصل 15) يكون من المعتاد أن نغذي الدواجن النامية حسب شهيتها، ولذلك يتم التعبير عن المقاييس الغذائية الخاصة بها ليست بكميات من عناصر غذائية ولكن كنسب من العناصر الغذائية في الغذاء ملحق جدول 10 Appedix.

كما تم شرحه في الفصل 17، تتناسب كميات الغذاء المأكولة من قبل الدواجن عكسياً مع تركيز الطاقة في أغذيتها. ويعني هذا أنه بزيادة تركيز طاقة الغذاء وبدون تغيير في تركيز – مثلاً – البروتين وبدأت الدواجن في أكل قليل من الغذاء ، إذن بالرغم من أن تناول الطاقة ربما يبقي عند المستوى السابق تقريباً، إلا أن تناولها من البروتين سيقل.

وربما سيكون لدى الطيور نقص في البروتين . لتعميم: فإن تركيز عنصر غذائي والذي يكون كافياً في الغذاء ذي المحتوى المنخفض في الطاقة قد لا يكون كافيا في غذاء أغنى في الطاقة. للتوضيح فإن مقاييس التغذية كتركيزات من عنصر غذائي تكون ملائمة فقط عند تطبيقها مع أغذية بتركيز معين من الطاقة.

إن مقاييس ملحق جدول 10 للكتاكيت وحتى ستة أسابيع من العمر تستعمل مع أغذية تحوى 11.5 ميجا جول طاقة أيضية لكل كجم ، وتحتاج إلى تعديل لأغذية تحولي طاقة أكثر أو أقل. وسيتم مناقشة بعض التعديلات فيما بعد في هذا الباب.

احتياجات البروتين للنمو **Protein Requirements For Growth**

المجترات **Ruminants**

أضيف محتوى البروتين في زيادة الوزن الحي في النظام العاملي لتقدير احتياجات البروتين والذي تمت مناقشته سابقاً، إلى تقديرات الفواقد الداخلية. مثلاً، بافتراض حمل وزنه 20 كجم وينمو بمعدَّل 0.2 كجم/يوم يقدر بأن له فواقد داخلية من النيتروجين تعادل نحو 21 بروتين/يوم، وبافتراض أن زياداته في الوزن الحي قدرت بأنها تحتوي 140 جم بروتين/كجم. إضافة إلى أنه سيخزن حوالي 6 جم من البروتين لكل يوم في صوفه، بناءاً عليه فإن احتياجه من البروتين سيكون:

21 + (0.2 × 140) + 6 = 55 جم/يوم.

ولحساب احتياجه من البروتين الأيضي، فإن كل من صافي الاحتياجات يجب تقسيمها على عامل كفاءة مناسب. بالنسبة للحفظ يكون هذا العامل 1.0، ولزيادة الوزن

الحي يكون 0.59 ولنمو الصوف يكون 0.26 (العامل الأخير منخفض بسبب تركيب الأحماض الأمينية غير المعتاد في بروتين الصوف)، لذلك تكون احتياجات MCP هي:

$$21 + \frac{28}{0.59} + \frac{6}{0.26} = 92 \text{ جم / يوم}$$

عندما يكون تناول الحمل من الطاقة الأيضية القابلة للتخمر 7 ميجا جول / يوم ، هذا سينتج 7×10=70 جم بروتين ميكروبي، والذي سيغطي 70×0.75×0.85=45 جم من احتياجات البروتين الأيضي. وسوف يتم تغطية النقص في البروتين الأيضي وهو

92–45=47 جم / يوم، بواسطة بروتين غير متحلل ومهضوم

.*Digestible Undegradable Protein*

لذلك يجب أن يوفر الغذاء 70 جم من البروتين المتحلل في الكرش فعلياً (ERDP) بالإضافة إلى 47 جم من البروتين غير المتحلل والمهضوم. لو كان تناول الحمل من الغذاء هو 700 جم مادة جافة/يوم، فإن التركيز المطلوب سيكون 100 جم/كجم من البروتين المتحلل في الكرش فعلياً زائد 67 جم/كجم من البروتين غير المتحلل المهضوم (DUP).

ولعل المثال السابق لحساب احتياجات البروتين الأيضي كان للحفظ فقط ويمكن تغطية الاحتياج كاملاً عن طريق البروتين الميكروبي في الكرش. مقابل ذلك، الحمل سريع النمو في المثال الحالي له احتياجات بروتين وهي عالية بالنسبة لاحتياجاته من الطاقة. بناءاً على ذلك، لا يكفي تخليق البروتين في الكرش لمواجهة احتياجات الحيوان، ولذلك هناك

احتياج إضافي كبير للبروتين الغذائي غير المتحلل. لكي يتم السيطرة على الاتزان الصحيح بين البروتين المتحلل وغير المتحلل في الكرش يحتمل انه من الضروري تضمين مصدر جيد بشكل خاص من البروتين غير المتحلل مثل مسحوق السمك " Fish Meal ". إذا كان من غير الممكن ضمان الاتزان الصحيح بين صنفي البروتين، يصبح من الضروري رفع المحتوى الكلي للبروتين في الغذاء والذي يمكنه توفير ما يكفي من البروتين غير المتحلل ولكنه يؤدي كذلك إلي زيادة ضياع البروتين المتحلل. ويكون للحملان والعجول التي رضعت توازن جيد للبروتين غير المتحلل المهضوم (DUP) والبروتين المتحلل في الكرش فعلياً (ERDP) نظراً لأنها تتلقى مصدراً جيداً من النوع الأول كبروتين لبن والذي يتخطى الكرش بواسطة آلية الميزاب المرّي (Oesophagal groove) ومصدر للبروتين المتحلل في الكرش فعلياً من الأغذية الأخرى مثل أعشاب المرعى.

الخنازير والدواجن Pigs and Poultry

بالإضافة إلى الاحتياج العام للبروتين ، فإن لغير المجترات احتياجات غذائية خاصة إلى 10 أو نحو ذلك من الأحماض الأمينية الضرورية أو الإجبارية. وقد أجريت خلال السنوات الثلاثين الماضية عدة تجارب لتحديد الاحتياجات الكمية للأحماض الأمينية الضرورية وتم التعبير عن المقاييس لا غذائية بلغة بروتين كلي مكمَّل عادةً (أو حتى مستبدل كلياً) بواسطة مقاييس لكل أو للبعض من هذه الأحماض الأمينية.

قد تمت صياغة الاحتياجات أيضاً بلغة " بروتين نموذجي (Ideal protein) "
(وهو بروتين يحتوى الأحماض الأمينية الضرورية بنفس النسب المطلوبة من قبل الحيوان) كما تم شرحه في الفصل 13.

من الممكن التعبير عن احتياجات البروتين بمصطلح بروتين كلي فقط في حالات تم فيها تغذية الحيوانات على مدى محدود جداً من أغذية ذوات تركيب معروف من الأحماض الأمينية. مثال لهذه الحالة، الخنازير النامية في الولايات المتحدة الأمريكية " USA " والتي تم تغذيتها كلياً على الذرة وكسب فول الصويا.

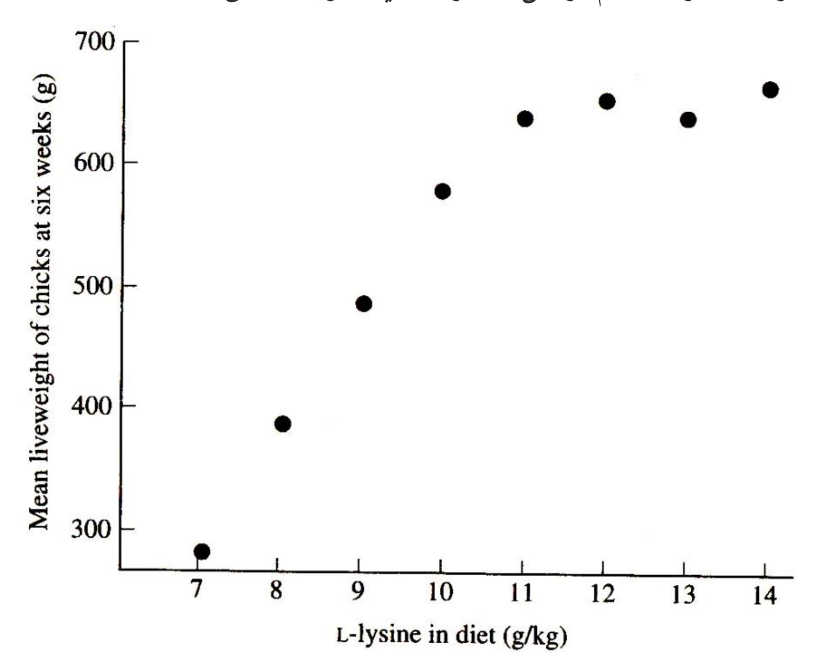
إلا أنه لا يمكن التأكيد على هذه الطريقة المبسطة عند استخدام أصناف أوسع من الأغذية والمنتجات الثانوية، وعندما يستوجب تكوين الأغذية لتعطي ليس نمواً سريعاً فحسب وإنما تركيباً مثالياً للذبيحة. لذلك فإن القائمين على تركيب الأغذية يقومون بتصميم أغذية الخنزير لتغطية على الأقل مقاييس ثلاثة من الأحماض الأمينية (اللايسين Lysine، الميثيونين بالإضافة إلى سستين Cystine + methionine والثريونين threonine). يأخذون في الاعتبار كذلك مدى تيسر أحماض أمينية معينة، وربما يحددون هذا من القيمة الهضمية في اللفائفي الأخير (terminal ileum) (كما شرح في الفصل 10).

احتياجات الخنازير والدواجن للأحماض الأمينية الضرورية

The requirements of pigs and poultry for indispensable amino acids

يتم تقدير الاحتياج إلى حمض أميني ضروري ما بإعطاء أغذية تحتوي مستويات مختلفة من الحمض المختبر ولكن مع مستويات متساوية من بقية الأحماض وقياس النمو واحتجاز النيتروجين. وربما يتم تحضير الأغذية التي تختلف في محتواها من حمض أميني واحد فقط من أغذية طبيعية ينقصها ذلك الحمض ، والذي سيضاف بكميات مدرّجة graded من الحمض النقي. ويوضح الشكل 4.14 نتيجة تجربة على كتاكيت تم فيها تكملة غذاء

منخفض في اللايسين و يعطي في هذه الطريقة أغذية تتراوح في محتواها من اللايسين من 7 إلى 14 جم/كجم. وقد تم استنتاج احتياج الكتاكيت للآيسين من هذه التجربة وبأنه 11 جم/كجم من الغذاء. وقد وجد في تجارب أخرى أنه من المناسب أن تستخدم أغذية اصطناعية وفيها يكون معظم أو كل النيتروجين في صورة أحماض أمينية نقية.



شكل 4.14 . نمو الكتاكيت التي أعطيت أغذية محتوية على مستويات مختلفة من اللايسين

Heuser GF 1956 (plotted from data of Edwards HM, Norris L C and *Poultry Sci.* 35 : 385)

إن مقاييس احتياجات الحمض الأميني الضروري للكتاكيت وصغار الديك الروم وصغار الخنازير تم استنباطها والبعض منها معطى في جداول 9 و 10 ملحق. ويجب اعتبارها حالياً كمقاييس تقريبية فقط، بسبب وجود تعقيدات كبيرة لتحديد احتياجات

الأحماض الأمينية، مثلاً تتأثر الاحتياجات بالتداخل بين الأحماض الأمينية الضرورية نفسها، بين الأحماض الضرورية وغير الضرورية وبين الأحماض الأمينية والعناصر الغذائية الأخرى. ويزداد الاحتياج للجلايسين بالنسبة للدواجن بانخفاض تركيزات الميثيونين، الأرجينين أو فيتامينات B المركب في الغذاء. وربما يكون التداخل نتيجة تحول أحد الأحماض الأمينية إلى آخر. عندما ينقص السستين cystine أو صيغته النشطة أيضياً سيستائين cysteine في الغذاء، فيتم تصنيعه من قبل الحيوان عن طريق الميثيونين لذلك فإن الاحتياج إلى الميثيونين يعتمد جزئياً على محتوى السستين (أو السيستائين) في الغذاء، وعادة تؤخذ هذه الأحماض في الاعتبار مع بعضها (أي أن الاحتياج يصاغ للميثيونين و السيستين).

ومن ناحية أخرى، يجب ملاحظة أن الأحماض لا تتحول فيما بينها تبادلياً (not mutually interconvertible) ؛ ولا يتم تصنيع الميثيونين من السيستين ولذلك فإن جزءاً من الاحتياج الكلي يجب تغطيته عادة عن طريق الميثيونين. الفينايل الانين و الحمض غير الضروري التايروسين لهما علاقة مماثلة. يتحول الجلايسين والسيرين في الكتكوت كلاً منهما إلى الآخر. تعقيدات إضافية تمليها العلاقات بين احتياجات الأحماض الأمينية والمحتوى الكلي للبروتين في الغذاء. لو أن الأخير تم تعديله لتعويض تغير في محتوى الطاقة، سوف تتغير عند ذلك أيضاً احتياجات الحمض الأميني، ولهذا السبب يتم أحياناً التعبير عن احتياجات الحمض الأميني في صورة جم حمض أميني/ميجا جول طاقة مهضومة أو أيضية. إن تطبيق مقاييس التغذية العملية لما يعادل 10 أو 11 حمض أميني من المحتمل أن تكون مجهدة نوعا ما. إذن، ما هي ضرورة أخذ كل منهما في الاعتبار عند استنباط

أغذية الخنازير والدواجن ؟. نظرياً، غالباً هناك أغراض غير محدودة لتعديل نسبب المكونات الغذائية (ويشمل ذلك الأحماض الاصطناعية) إلى تطابق محتويات الغذاء وبشكل دقيق تلك المطلوبة من قبل المقاييس. من المعتاد أن يوجد عملياً أن مخاليط الأحماض الأمينية التي يوفرها الغذاء ليست بالنسب المطلوبة ومن ثم تستخدم بعدم كفاءة وذلك بسبب أن أحد أو اثنين من الأحماض الأمينية به نقص واضح جداً.

النتيجة من ذلك أن درجة النجاح المحققة من تطبيق المقاييس تعتمد وبشكل خاص على ما إذا تم تغطية الاحتياجات من هذه الأحماض الأمينية الحدية أم لا. ويمكن أن يتضح بمقارنة احتياجات الأحماض الأمينية بمحتوى الأحماض الأمينية في أغذية نموذجية، بأنه في حالة الخنازير يرجح أن الحمض الأكثر نقصاً هو اللايسين. وبالنسبة للكتاكيت فإن الحمض الأميني الحدي الأول هو وبشكل شائع الميثيونين، بالرغم من أن اللايسين وربما الآرجينين قد تكون ناقصة أيضاً.

من الناحية العملية قد يكون كافياً أن تضمن أن أغذية الخنازير والدواجن تحتوي، أولاً على بروتين كلي كافٍ، وثانياً على محتويات ملائمة من تلك الأحماض الأمينية والتي يرجح أن تكون ناقصة في اغلب الأحيان. مع ذلك وبعمل هذه التسهيلات، يجب تذكر انه على الأقل بالنسبة للخنازير قد وضعت مقاييس البروتين الكلي مرتفعة لكي تكون ملائمة لأغذية تحتوي بروتيناً منخفض الجودة، أي للأغذية ناقصة بشكل كبير في الأحماض الأمينية الحدية الأكثر تكراراً. لو أعطى اهتمام كبير لهذه الأحماض الأمينية فقد يبدو من

المرجح أن مقاييس البروتين الكلي سيتم تخفيضها، وهذا يعطي أهمية لأحماض أمينية أخرى والتي لا تعتبر حالياً مرجحة لتكون على مقربة من الكفاية.

احتياجات العناصر الغذائية لإنتاج الصوف

Nutrient Requirements For Wool Production

يختلف وزن الصوف المنتج من قبل الأغنام اختلافاً كبيراً من سلالة إلى أخرى، ومن القيمة المتوسطة يستخدم فقط كمثال. ويمكن على سبيل المثال، أن تعتبر أن صوف وزنه 4 كجم وهذا يمثل الإنتاج السنوي من الميرينو Merino وزنه 50 كجم. ويمكن أن يحتوي مثل هذا الصوف على 3 كجم ألياف صوف فعلية، والكيلوجرام المتبقي عبارة عن شمع الصوف، عرق الغنم الجاف، أوساخ وماء. ينتج شمع الصوف من غدد دهنية " Sebaceous Glands" ويتكون أساساً من استرات الكوليستيرول وكحولات أخرى مع أحماض توجد عادة في جلسريدات وأحماض اليفاتية (دهنية) أخرى. عرق الغنم الجاف " Suint " إفراز غدد عرقية (Sudoriferous Glands)، وهو مخلوط أملاح غير عضوية، صابون بوتاسيوم وأملاح بوتاسيوم لأحماض دهنية قصيرة.

تتكون ألياف الصوف في معظمها من البروتين و كيراتين الصوف و لنمو صوف يحتوي 3 كجم بروتين في سنة واحدة، تحتاج الأغنام ترسيب متوسط يومي (أي مع إهمال التقلبات الموسمية في نمو الصوف) حوالي 8 جم بروتين أو 1.3 جم نيتروجين. ويمكن عند مقارنة القيمة الأخيرة مع 6.6 جم نيتروجين أن تفقدها أغنام تزن 50 كجم في اليوم كنيتروجين داخلي، وسنلاحظ انه نسبة إلى احتياجات الحفظ، فإن احتياج الأغنام

للنيتروجين لغرض نمو الصوف تكون صغيرة. ومن ناحية ثانية، فإن هذه القيم لا تدلنا بكل المعلومة، نظراً لأن كفاءة استخدام الأحماض الأمينية الممتصة لتصنيع الصوف من المرجح أن تكون أقل بكثير من كفاءة استخدامها للحفظ. ويتميز الكيراتين بمحتوياته العالية من الحمض الأميني المحتوي على الكبريت، سيستين " cystine " وبالرغم من انه ليس حمضاً أمينياً ضرورياً فهو يتم تصنيعه من حمض ضروري وهو الميثيونين. بناءاً على ذلك فإن كفاءة تحول بروتين الغذاء إلى صوف يحتمل إنها تعتمد على النسب الخاصة من السستين والميثيونين. ويحتوي الكيراتين على 100 – 120 جم/كجم من هذه الأحماض، مقارنة بحوالي 20 – 30 جم/كجم الموجودة في بروتينات النبات وفي البروتينات الميكروبية المصنعة في الكرش، وبالتالي يرجح ألاّ تكون القيمة البيولوجية لبروتين الغذاء لنمو الصوف أكثر من 0.3. في نظام البروتين الأيضي، ويكون عامل تحويل البروتين الأيضي إلى بروتين صوف هو 0.26. وفيما يتعلق باحتياجات الطاقة لنمو الصوف، فإن الأغنام المنتجة لجزة تزن 4 كجم كان عليها أن تحتجز حوالي 0.23 ميجا جول/يوم. وتقدر كفاءة استخدام الطاقة الأيضية لإنتاج الصوف بحوالي 0.18، ولذلك ستحتاج الأغنام

$\frac{\mathbf{0.23}}{\mathbf{0.18}} = \mathbf{1.3}$ ميجا جول طاقة أيضية/يوم لنمو الصوف والذي ربما يقارن باحتياجات الحفظ وهي حوالي 6 ميجا جول طاقة أيضية / يوم.

بينما تكون الاحتياجات من العناصر الغذائية لإنتاج الصوف وحتى للبروتين أصغر كمياً ، ويجب افتراض أن أقصى نمو للصوف سيتم عند مستوى من التغذية أعلى قليلاً فقط من مستوى الحفظ. إن نمو الصوف يعكس المستوى العام لتغذية الأغنام. عند مستويات

دون الحفظ، وعندما تفقد الأغنام الوزن، يستمر صوفها في النمو ، بالرغم من ان ذلك يتم ببطء، وعندما يتحسن مستوى التغذية وتكتسب الأغنام زيادة في الوزن، يزداد بذلك وزن الصوف أيضاً.

في نظام هيئة البحوث الزراعية 1980، للبروتين المرسّب في الصوف (NP_w،glday) تم ربطه مع البروتين المرسب في أنسجة أخرى (NP_g) عن طريق المعادلة:

$$\mathbf{NP_w = 3 + 0.1\ NP_g}$$

قدرت اللجنة الاسترالية القائمة على الزراعة The Australian Standing Committee on Agriculture أن نمو صوف جاف نظيف في الميرينوز (Merinos) بأنه في مدى 0.5 – 0.9 جم/ميجا جول طاقة أيضية ويبدو بأن نمو الصوف بمعدل أقصى والذي يختلف من أغنام إلى أخرى ويكون داخل نطاق قد يرتفع إلى 5 – 10 جم/يوم.

إن اعتماد نمو الصوف على مستوى تغذية (أي على المأكول من الطاقة) الأغنام ينشأ وبشكل جزيء عن الترابط بين المأكول من الطاقة وتصنيع البروتين الميكروبي. وهكذا يرجح أن المحدد الحقيقي لمعدل نمو الصوف هو كمية البروتين المهضوم والممتص في الأمعاء الدقيقة للأغنام، فعلي سبيل المثال، أتضح بأن أغنام الميرينو يجب أن تمتص 120– 150 جم بروتين في اليوم لتحقيق أقصى معدل لنمو الصوف. في حالة نعجة بتناول طاقة أيضية قابلة للتخمر مقدارها 10 ميجا جول/يوم (أي ضعف احتياجاتها من الطاقة

الأيضية للحفظ)، وسيتم تصنيع 100 جم فقط من البروتين الميكروبي لكل يوم 100× 0.75 ×0.85=64 جم ستمتص كأحماض أمينية. بناءاً على ذلك، لتحقيق نمو أقصى في الصوف، فإن الأغنام عليها أن تعتمد على مصدر جيد من البروتين الغذائي غير المتحلل. ويحتمل في حالة التطبيق العملي أن يوفر هذا عن طريق استهلاك كميات كبيرة من بروتين عشب المرعى. وربما يكون هذا أعلى قابلية للتحلل نسبياً ولكنه مازال مصدراً لمعظم البروتين غير المتحلل. مثلاً، ربما تستهلك نعجة 250جم بروتين/يوم، منها 0.3 (0.75 جم) ستكون بروتيناً غير متحللاً مهضوماً. وبالرغم من ذلك، يزداد الصوف في الأغنام بشكل كبير عن طريق مكملات محمية من التحلل في الكرش، مثل الكازين المعامل بالفورمالين. وكما هو متوقع ، أكثر المكملات فعالية هي تلك الغنية بالأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت. وتتأثر جودة الصوف بتغذية الأغنام، حيث المستويات العالية من التغذية تزيد قطر الألياف والجدير بالاهتمام أن الصوف يأتي مناطق العالم ذات الإمكانيات الغذائية الأقل.

وربما تسبب المجاعة انخفاضاً مفاجئاً في نمو الصوف؛ و يخلّف هذا خاصية الضعف في كل ليفه وهو مسئول عن خلل في الصوف باسم يفسر نفسه (Break). ولعل العلامة المبكرة لنقص النحاس في الأغنام هي فقد التجعد (Crimp) أو التموج (Waviness) في الصوف؛ ويكون هذا مصحوباً بتدهور شامل في الجودة، فقد الصوف مرونته وانجذابه للصبغات.

الاحتياجات من المعادن والفيتامينات للحفظ والنمو

Mineral and Vitamin Requirements For Maintenance and Growth

يتعلق هذا الجزء بالمبادئ العامة التي تحكم تحديد مقاييس التغذية للمعادن والفيتامينات، لم تكن هناك محاولة لمناقشة عناصر غذائية فردية، نظراً لأن عمل ذلك يترتب عنه ازدواجية مادة الأبواب 5 و6.

المعادن **Minerals**

إن الحيوانات التي تحرم من مصدر غذائي للعناصر المعدنية تواصل إخراج هذه العناصر الغذائية، ويتم تحرر العناصر التي توجد في الجسم وبدرجة أساسية كمكونات من المركبات العضوية، مثل حديد الهيموجوبين ويود الثايروكسين من هذه المركبات عندما تستهلك أو تتلف. ويعاد استغلال العناصر التي أخرجت على هذا النحو، على نطاق واسع وبشكل مختلف، ولكن إعادة الاستغلال ليست كاملة مطلقاً وسوف يتم فقد نسبة من كل عنصر من الجسم في الروث والبول وخلال الجلد. وتوجد هناك فواقد في البول من تلك العناصر المتواجدة في صور غير عضوية، مثل الكالسيوم و الصوديوم و البوتاسيوم و الماغنسيوم، كالتي تنشأ عن المحافظة التوازن القاعدي – الحمضي في الحيوان ، و تحدث فواقد في الروث من خلال إفرازات إلى القناة الهضمية والتي لا يعاد امتصاصها. نظراً لأنها تعاني كل هذه الفواقد الداخلية، تحتاج الحيوانات إلى المعادن لغرض الحفظ. وتكون الفواقد الداخلية من المعادن غالباً صغيرة، مع أن ذلك يتعلق بمحتوى المعدن في الجسم.

حيث يحتوي جسم خنزير من 30 كجم والذي علي حوالي 230 جم كالسيوم، ويتعرض لفواقد داخلية تعادل حوالي 0.9 جم من العنصر لكل يوم، ومن ثم يحتاج يوميا إلى

استبدال حوالي 0.4 % من كالسيوم جسمه، ويحتوي نفس الخنزير علي حوالي 40 جم صوديوم ويحتاج استبدال 0.036 جم أو 0.09 % في اليوم. وبالمقابل، سيحتاج الخنزير استبدال حوالي 7 % من نتروجين جسمه يومياً.

إن طرق التعامل المستخدمة في تقدير الاحتياجات من المعادن هي نفسها التي استخدمت في تحديد مقاييس الطاقة والبروتين. توفرت طريقة نظرية بواسطة طريقة عاملية وتقديرات عملية للاحتياجات من تجارب الاتزان والنمو. بناءاً على ذلك فإن المقاييس يجب أن تأخذ في الاعتبار الفروق في تيسر المعدن التي تحدث بين حيوانات مختلفة الأنواع والأعمار (أنظر الفصل 10).

تقديرات عاملية للاحتياجات المعدنية

Factorial Estimates of Mineral Requirements

يتم حساب صافي الاحتياج من العنصر المعدني للحفظ بالإضافة إلى النمو كحاصل جمع الفواقد الداخلية والكمية المحتجزة لتحديد الاحتياج الغذائي، ويتم تقسيم الاحتياج الصافي على قيمة متوسطة لتيسر العنصر (معبر عنها كقيمة عشرية decimal). مثلاً، عجلة وزنها الحي 300كجم تزيد بمعدل 0.5 كجم/يوم يعتقد أن لديها فواقد داخلية من الكالسيوم نحو 5 جم/يوم وتستبقي 6 جم/ يوم: لذلك يصبح الاحتياج الصافي هو 11 جم كالسيوم/ يوم. لو أن متوسط قيمة تيسر الكالسيوم كانت حوالي 0.68، بذلك سيكون احتياج الحيوان من الكالسيوم $\frac{11.0}{0.68} = 16$ جم / يوم.

الصعوبات المترتبة على الطريقة العاملية للاحتياجات المعدنية هي نفسها المصاحبة للتقديرات العاملية لاحتياج البروتين، ففي حين أن ما تحتويه الزيادات في الوزن الحي من معادن ربما يحدد بسهولة (ولو انه مجهداً) عن طريق تحليل الذبيحة، فإن تقييم الفواقد الداخلية، ومن ثم تيسر المعدن تكون أكثر صعوبة. ويصعب إعداد أغذية المجترات والتي تكون خالية تماماً من عنصر ما فهي وبدرجة خاصة، ولعل ذلك بسبب هذه الصعوبات في التقنية كما أن التقديرات النظرية لم تتفق مع التقديرات العملية.

تجارب التوازن والنمو Growth and Balance Trials

عندما تقيّم الاحتياجات المعدنية بواسطة مقارنة تأثيرات أغذية توفّر كميات مختلفة من عنصر ما على الحيوان، فإن المشكلة الكبرى هي إثبات معيار ملائم للكفاية. إن ذلك المأكول الذي يكفي للحد من علامات إكلينيكية للنقص ربما يكون غير كافٍ لدعم أقصى نمو. فيما يتعلق بالمعادن المكونة للعظم، فقد يكون المأكول الذي يعطي أقصى معدّل لزيادة الوزن لا يزال غير كافٍ إذا تم تشخيصه عن طريق متانة العظم الناتج.

ويكون الوضع أكثر تعقيداً بحسب المخزون المعدني للحيوان، عندما يكون هذا المخزون كبيراً عند بداية تجربة ذات أمد قصير، فقد يكون كافياً لإمكانية صحة طبيعية ونمو حتى ولو أن الغذاء غير كاف، وعليه يفضل أن يتم توازن المعادن مباشرة أو يقدر على نمو غير مباشر بواسطة تحليل أنسجة مختارة. ومن ناحية أخرى، فحتى تجارب التوازن ربما يكون من الصعب تفسيرها نظراً لأن للحيوان قدرة تخزينية فائقة للعنصر، فالمخصص الغذائي الذي يعزز أقل من أقصى احتجاز ربما يبقى كافياً تماماً. هكذا، ففي التجارب طويلة المدى والتي

تستمر دورة سنوية أو أكثر في أبقار اللبن، فقد توفر الإنتاجية والصحة فقط دلالات موثوق بها فيما يخص أدنى احتياجات معدنية. من ناحية أخرى، فيجب أن تكون التجارب عادة في حالة الحيوانات النامية قصيرة الأمد كما يفترض أن تدعم قياسات احتجاز المعادن قياسات زيادة الوزن الحي.

المقاييس الحالية **Present Standards**

لقد بنيت الاحتياجات للمعادن المبينة في الجداول الملحقة جزيئاً على حسابات عاملية وجزيئاً على نتائج تجارب التغذية. ولعل العناصر التي خضعت للتحقق أكثر فيما يخص الأنواع كلها، هما الكالسيوم والفوسفور، لكون هذه العناصر مرجحة أكثر أن تكون ناقصة في الأغذية. وقد تغيرت تقديرات الاحتياجات من الكالسيوم والفسفور، بشكل ملحوظ في حالة المجترات، خلال السنوات الثلاثين الأخيرة الماضية بسبب توفر حقائق جديدة عن التيسر و الفواقد الداخلية. فمثلاً، في عام 1965 قرر مجلس البحوث الزراعية في المملكة المتحدة أن الاحتياج من الفوسفور لبقرة تزن 600 كجم، تنتج 30 لتر من اللبن في اليوم، يكون 85 جم/يوم. في عام 1980 وتم تعديل تقديره إلى 59 جم/يوم، وفي عام 1991 قدرت اللجنة الفنية للاستجابات للعناصر الغذائية التابعة لـ AFRC أن الاحتياج من الفوسفور لتلك البقرة بأن يكون أقل أيضاً (54 جم/يوم) فيما أو أعطيت غذاء عالٍ في الطاقة (13 ميجا جول طاقة أيضية / كجم مادة جافة)، ولكن أعلى كثيراً (82 جم / يوم)، إذا أعطيت غذاء محتواه في الطاقة أقل (11 ميجا جول طاقة أيضية/كجم مادة

جافة). وتنشأ الفروق بين الأغذية جزئياً من حقيقة أن الأبقار على أغذية منخفضة الطاقة تفرز فوسفور أكثر نسبياً في اللعاب وبناءاً عليه تعاني فواقد داخلية هائلة من العنصر.

الفيتامينات Vitamins

لا توجد هناك تقديرات للفواقد الداخلية لتؤسس عليها تقديرات عاملية للاحتياجات من الفيتامين، ولذلك يجب أن تشتق المقاييس من نتائج تجارب التغذية. كما في تقييم الاحتياجات المعدنية، ربما يكون من الصعب في هذه التجارب اختيار معيار تقارن به المخصصات والحكم على انه كافي أو غير كافٍ. ولعل المعايير الرئيسية مرة أخرى هي معدل النمو والخلو من علامات النقص، ويتم استبيان النقص إما بالكشف عن طريق النظر للحيوانات أو بالاختبارات الفسيولوجية مثل تحديد مستويات الفيتامين في الدم. ربما يقيم مخزون الفيتامين أيضاً، إما من التحاليل الفعلية للأنسجة أو من دليل غير مباشر مثل تشبع النسيج مثلما يتوفر ذلك عن طريق إخراج الفيتامين في البول. وقد وضحت الصعوبات المتضمنة في تقدير الاحتياجات في الجدول 8.14، وهي تبين أن الاحتياج الظاهري قد يختلف وبشكل واسع حسب المعيار المفضل للكفاية.

ومن ناحية عملية، يجب أن تكون مخصصات الفيتامين على الأقل مرتفعة إلى حد مقبول للحد من علامات النقص ولا تقيد معدّل النمو. المخصصات العالية والتي تعزز تخزينه أو مستويات عالية من الفيتامين الدائر في الدم، يمكن تبريرها فقط إذا استطاعت أن تبين على المدى الطويل تأثيراً على صحة وإنتاجية الحيوان بطريقة تصبح واضحة في التجارب قصيرة المدى والتي غالباً ما يتم بها تقييم الاحتياجات. ويمكن تبرير بعض المخزون نظراً لأنه

في معظم الحيوانات هناك تقلبات في كل من الحاجة إلى الفيتامينات ومصادرها، عادة تقرر المخصصات عند مستويات تسمح بالمحافظة على المخزون.

جدول 8.14 احتياجات العجول من فيتامين A

(From the data of Lewis J M and Wilson L T 1945 J.Nutr.,30,467)

أدنى احتياج لغرض:	فيتامين A وحدة عالمية / كجم وزن حي / يوم
الحد من العشى الليلي	32
النمو المثالي	64
تخزين محدود من فيتامين A	250
أقصى مستوي لفيتامين A في الدم	500

وتعتبر احتياجات الحيوانات المتقدمة في السن إلى الفيتامينات الذائبة في الدهن على الأقل كنسبة إلى وزن الجسم، ومن ناحية أخرى بالنسبة لمجموعة فيتامين B والتي تتعلق أساساً بالأيض فهي تختلف عموماً بالمأكول من الغذاء، أو في بعض الحالات بالمأكول من عناصر غذائية معينة. وهكذا الاحتياج للثيامين (Thiamine) والذي يتعلق بأيض الكربوهيدرات بشكل خاص، يختلف تبعاً للأهمية النسبية للكربوهيدرات والدهون في الغذاء، و تزداد للأسباب نفسها الاحتياجات للرايبوفلافين (Riboflavin) بارتفاع تناول البروتين.

وتختلف الاحتياجات أيضاً تبعاً لمدى تصنيع فيتامين B في القناة الهضمية، ففي الحيوانات العاشبة يحدث تصنيع كافٍ يجعل الحيوان غير معتمد على المصادر الغذائية. ويتم في الخنازير والدواجن تصنيع هائل في القناة الهضمية الخلفية ، لكن ربما يصبح من المتعذر

إعادة امتصاص الفيتامينات الناتجة. إذاً فإن مساهمة التصنيع المعوي تعتمد على ما إذا كان للحيوان حرية في ممارسة الاقتيات على الروث (أكل الروث Coprophagy)، والنقطة الأخيرة ذات الأهمية تتعلق بتيسر الفيتامينات. وتحدد الاحتياجات عادة من أغذية محتويه على مصادر اصطناعية من الفيتامينات، والتي ربما يكون تيسرها أعلى من فيتامين الأغذية الطبيعية. بالرغم من معرفة القليل حول تيسر الفيتامين، المثل الموثّق تماماً لعدم التيسر، متوفر عن طريق حمض النيكوتين في الحبوب، البعض منه في صورة مرتبطة غير متاحة للخنازير.

ويؤخذ عامل إضافي في الاعتبار عند تكوين العلائق لتوفير الاحتياجات من الفيتامينات وهو أن عدة فيتامينات (كما نوقش في الباب 5) غير ثابتة وتتحطم جزئياً أثناء تحضير وتخزين الأغذية المركبة.

التحكم الغذائي للنمو Nutritional Control of growth

أوضحت الأجزاء السابقة من هذا الباب كيف أن أنماط نمو الحيوانات تحدد احتياجاتها من العناصر الغذائية. ويجب أن نعتبر الآن المظهر الثاني في تداخل التغذية والنمو، وكيف يمكن تنظيم النمو عن طريق التغذية؟. إن أهداف أي شخص لتنظيم نمو الحيوان بواسطة التغذية بشكل عام تكون مضاعفة: استخدام مصادر غذائية متاحة لتحقيق معتدل مرتفع من النمو وإنتاج ذبيحة توافق احتياجات المستهلك. ويتم التحكم في معدل نمو الحيوان عن طريق تناوله من العناصر الغذائية، وخاصة ما يتناوله من طاقة. وقد تم وصف الطاقة فيما سبق كخطوات محددة لإنتاج الحيوان وكل من الطبيعية (مثل المناخ)،

والاختلافات المفروضة على مصدر طاقة الحيوان سوف تنعكس على معدّل نموه. يكون معدّل النمو السريع مرغوباً لأنه يقلل التكلفة الفوقية للحفظ لكل وحدة من اللحم المنتج.

تكون تغذية الحيوان في صناعات الإنتاج الحيواني في الدول المتقدمة، متوفرة بسهولة بالرغم من إن استخداماتها محددة بالتكلفة، أما في الكثير من الدول النامية، فان مصادر الأغذية وبصفة خاصة المركزات عالية الطاقة، تكون عادة قليلة أو غير موجودة،وينشأ عادة عن هذا الوضع مصادر وغير كافيه تنطبق على حيوانات كثيراً جدا. وحتى لفترة حديثة نسبياً، كان الدهن هو المكون الأكثر بروزاً في اللحم. وكانت الزيوت النباتية حتى نهاية القرن التاسع عشر، غير متوفرة بسهولة و يحتاج الكثير من المستهلكين لتناول طاقة عالية لدعم أعمالهم اليدوية. لذلك كان حيوان اللحم النموذجي هو الذي يتم تسمينه في فترة حياته المبكرة وقد توفر ذلك عن طريق الانتخاب الوراثي لسلالات صغيرة مبكرة النضج (مثل أبقار الابردين أنخس Aberdcen – Angus). لقد لاحظنا الآن أن الحيوانات التي تنمو بسرعة تميل لامتلاك كميات هائلة من الدهن في كل وحدة من الزيادة الوزنية، لذلك فإن الأهداف المزدوجة من نمو سريع وذبيحة مرغوبة كانت متوافقة مع بعضها. ومن ناحية ثانية، وعلى مدى 20 – 30 سنة الماضية أصبح ينظر إلى الدهن بأنه مكون أقل رغبة في الذبيحة، وأن التحكم في النمو بواسطة الطرق الغذائية قد أصبح صعباً نظراً لعدم توافق أهدافه؛ الخطر أن الحيوان الذي يغذي لسرعة النمو سيصبح بديناً جداً. ويتم في الممارسة الحالية تجنب الخطر جزئياً باستخدام سلالات أو انتخاب حيوانات أكبر ومتأخرة النمو؛ لذلك فإن حيوان اللحم المفضل في الوقت الحاضر هو أحد السلالات الأوربية الكبيرة والتي ستنمو سريعاً

ويمكن ذبحها عندما تكون غير ناضجة نسبياً وبالتالي تعطي ذبيحة كبيرة ولكن قليلة الدهن. وثمة طريقة أخرى للحد من ترسب الدهن الزائد وذلك بمعاملة الحيوانات بما يعرف عوامل إعادة التجزئة " Repartitioning agent " وهي هرمونات أو مواد مرتبطة بها والتي تعدل ترسب الطاقة باتجاه البروتين وبعيداً عن الدهن. إنها تشمل هرمونات جنسية (كل من الاستروجينات والاندروجينات) ، (هرمون النموSomatostatin) و (Cimaterol a β. adrenergic agonist).

إن هرمون النمو، وبدرجة خاصة، هو عامل تجزئة فعَّال وان اكتشاف تأثيراته شجعت البحث على استخدام هندسة الوراثة لزيادة إنتاج الحيوان من الهرمون. ومن ناحية ثانية، فقد فرض حظر استخدام عوامل التجزئة هذه في كثير من الدول شملت معظم أوربا وذلك بسبب قلق المستهلكين بالدرجة الأولى فيما يتعلق بوجودها في اللحم. ومع ذلك فإن نتائجها المثيرة كثيراً ما أيدت التركيز علي مجال تنظيم النمو بواسطة طرق مقبولة تشمل التغذية. وربما تتحد أهداف تنظيم النمو في بعض الأحيان في هدف واحد، زيادة قصوى في ترسيب عضلات (أو بروتين). ولتحقيق هذا فمن الضروري أن يكون المضاف من البروتين الحيواني بمستوي مثالي. وقد يتم في هذا الفصل والذي سبقه التأكيد وبشكل أكثر على استخدام معلومات مكتسبة حديثاً لتحسين تغذية البروتين في الماشية. بعض الأمثلة وهي أنظمة جديدة أدخلت لحساب وتغطية احتياجات البروتين في المجترات وفكرة البروتين المثالي لغير المجترات. ولضمان التجزئة الصحيحة للطاقة بين البروتين والدهن فمن الضروري أن يكون مصدر الطاقة مطابقاً لمصدر البروتين. فيما يتصل بالمجترات علي وجه التحديد،

يكون مصدر البروتين غير كافٍ لمواجهة إمكانية فعالية الحيوان لترسيب البروتين وتستعمل بعضاً من الطاقة لتخزين الدهن. إن توازن الطاقة:البروتين يهيأ في الكرش بالرغم من إمكانية تغييره عن طريق تزويد بروتين غير متحلل في الكرش ولكنه مهضوم في القناة الهضمية الخلفية (بروتين مهضوم غير متحلل Digestible Undegadable Protein،DUP ، أنظر الفصل 13)،المثال المتطرق لهذا هو تغذية الحملان المسمنة بإفراط على التبن (أي طاقة منخفضة) ومعها مسحوق سمك (بروتين مهضوم غير متحلل و مرتفع). مع مثل تلك الأغذية يمكن إعادة بنية الحملان بما بجعلها تستخدم دهناً الجسم للرفع من النقص في الطاقة الغذائية بينما ترسب البروتين في نفس الوقت.

نشأت فرص تنظيم النمو عن طريق التغذية خلال تناول العناصر الغذائية في عدة مراحل، فمثلاً أمكن المحافظة على تناول الغذاء بشكل منخفض نسبياً في بداية العمر ومرتفعاً بعد ذلك أو العكس بالعكس. وقد أجريت تجارب تقليدية على تمرحل تناول العناصر الغذائية بواسطة Sir John Hammond وزملائه ووفرت نتائجهم خلفية لنظرية موجة النمو لها موند " Hammond ' s Growth Wave Theory " التي أشير إليها سابقاً.

نتائج إحدى هذه التجارب موضحة في جدول 9.14. عشرون خنزيراً تم تسمينها إلى 90 كجم وزن حي بمعدلات منخفضة أو مرتفعة من تناول الغذاء لتعطي معدلات منخفضة أو مرتفعة من النمو. وتم تغيير بعض من هذه الحيوانات من أحد المعدلات إلى آخر في منتصف فترة التجربة (مرتفع – منخفض ومنخفض – مرتفع) وبقيت الحيوانات الأخرى علي نفس المعدّل فكانت الفروق الأكبر في مكونات الذبيحة في هذه الخنازير في

محتواها من الدهن التي تم فحصه بدقة وأن لدى الخنازير التي نمت بسرعة طوال فترة (مرتفع – مرتفع) محتوى دهن 108 جم/كجم أعلى من تلك التي نمت ببطء طوال فترة (منخفض – منخفض) وكان هناك فرق لنفس التدرج بين مجموعات منخفض – مرتفع ومرتفع – منخفض.

ولعل المجموعة التي بها أقصى دهن وأقل عضلات وهي مجموعة منخفض – مرتفع توافق نظرية موجة النمو، على أن نقص العناصر الغذائية في بداية العمر يظهر بأنها قيدت نمو العضلات والذي كان لديه الأولوية العليا عند تلك المرحلة. ومن ناحية أخرى، عند التعبير على نتائج التجربة بطريقة مختلفة، كذبيحة خالية من الدهن (انظر الجزء الثاني من جدول 9.14) ، يبدو أن الأنسجة غير الدهنية ليست متأثرة كثيراً بالمعاملات.

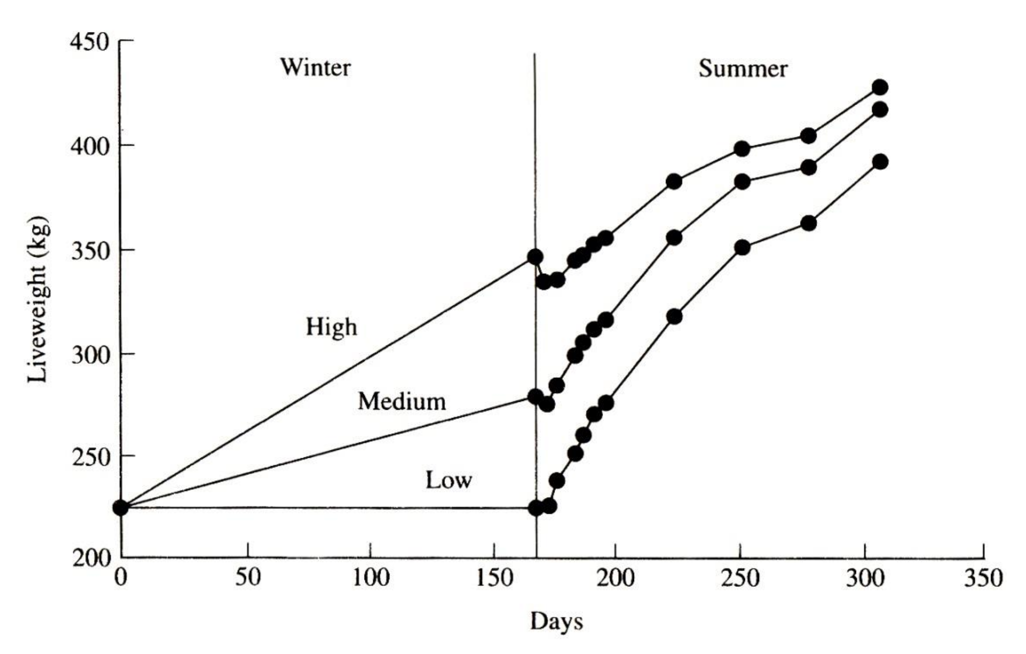
وقد تم حساب القيم الأخيرة عن طريق F.W.H. Elsley وزملائه، الذين استنتجوا بأن الدهن كان النسيج الرئيسي المتأثر بتناول العناصر الغذائية على مراحل. برغم ذلك، وكما اعترفتا للتو، يعتبر الدهن مهماً. لسنوات كثيرة، تم التحكم في تناول الغذاء من قبل خنازير اللحم لكي تغذي وفقا لسياق مرتفع – منخفض وذلك لكي يحدد ترسيب الدهن. وقد تم في فترة حديثة جداً، تحوير البنية الوراثية Genotype لخنازير اللحم لتوفير حيوانات يمكنها تحديد ما تتناوله كلما اقتربت من وزن اللحم Bacon Weight، وبذلك تتجنب زيادة في ترسيب الدهن. مثال أخر على تأثيرات تناول العناصر الغذائية علي مراحل وجد في ظاهرة النمو التعويضي " Compensatory Growth ".

جدول 9.14 تركيب (جم/كجم) ذبائح الخنازير التي تم تسمينها عند معدلات مختلفة (أنظر النص) وذبحت عند 90 كجم

After McMeekan CP 1940 *J. Agric, Sci., Camb,* 30, 511)

معدل النمو :	مرتفع– مرتفع	مرتفع–منخفض	منخفض– مرتفع	منخفض– منخفض
العمر عند الذبح(أسابيع)	20	28	28	46
تركيب الذبيحة كاملة				
عظام	110	112	97	124
عضلات	403	449	363	491
دهن	383	334	441	275
جلد ... الخ	105	106	99	110
تركيب الذبيحة الخالية من الدهن				
عظام	178	168	174	171
عضلات	653	674	649	677
جلد ... الخ	170	160	177	152

تكون فترة نقص الغذاء في كثير من النظم البدائية جداً أو الطبيعية في الإنتاج الحيواني، متبوعة بوفرة في مصدر العناصر الغذائية (تتابع منخفض – مرتفع). أثناء مرحلة الارتفاع كثيراً ما تنمو الحيوانات بشكل سريع جداً وهذا النمو التعويضي ربما يمكنها بأن تلحق بحيوانات لم تخضع لمرحلة منخفضة والمثال على هذا موضح في شكل 5.14.



شكل 5.14 النمو التعويضي في الأبقار. حيوانات وضعت على مستويات مرتفعة، متوسطة ومنخفضة (مستوي الحفظ) من التغذية أثناء الشتاء (الأيام 0 – 168)، ثم مارست الرعي مع بعضها أثناء الصيف التالي (الأيام 169 –308). (plotted from the data of Lawrence TLJ and Pearce J 1964 *J. Agric. Sci., Camb.* 63,5)

لقد كان سبب النمو التعويضي، كما كانت تأثيراته على تركيب الجسم، مختلفة. كثيراً ما تأكل الحيوانات المعوّضة compensating أكثر من غيرها قياساً لكل وحدة من الوزن الحي، وبالتالي فإن لديها عناصر غذائية أكثر متيسرة للنمو. إضافة إلى ذلك، لو أنها ازدادت أكثر في العظام والعضلات عنها في الدهن، فإن زياداتها الوزنية سوف تحتوي أقل طاقة لكل وحدة وزن، وكل وحدة متناولة من الطاقة سوف تشجع زيادة هائلة في الوزن

الحي. وأخيراً فإنه من المهم أن نتذكّر أن المحدد الأساسي لتركيب الجسم، ومن ثم احتياجاته من العناصر الغذائية للنمو، هو وزن الحيوان كما تم توضيحه بمعادلات " allometric equation ". ومن ناحية أخرى، فإن الانحراف من العلاقات الالوميترية العامة وفقاً للسلالة، الجنس، ...الخ.، مهم في الإنتاج الحيواني لأن جميعها تؤثر في الاحتياجات من العناصر الغذائية وكذلك تركيب وقيمة الذبيحة المنتجة.

علاوة على ذلك، يحاول المزارعون والعلماء الذين يساعدونهم- في نظم الإنتاج الحديثة، أن يوجّهوا أو يبدّلوا العلاقات الالوميترية لكي ترفع من معدّل إنتاج حيواناتهم من اللحم المسوَّق (والذي يتكون حالياً من عضلات لحمية، وبالتالي بروتين).

ويمكن أن يتحقق هذا الهدف من خلال التغير الوراثي (في بعض الأقطار) استعمال عوامل تحوير النمو وبتنظيم التغذية.

مراجع الفصل الرابع عشر

1. Alderman G 1993 *Energy and Protein Requirements of Ruminants*.Wallingford, CAB International.
2. Australian Standing Committee on Agriculture 1990 *Feeding Standards for Australian Livestock: Ruminants*. Melbourne, CSIRO
3. Black J L and Reis P J (eds) 1979 *Physiological and Environmental Limitations to Wool Growth*. Armidale, NSW, University of New England Press.
4. Boorman K N and Wilson B J (eds) 1977 *Growth and Poultry Meat Production*. Edinburgh, Longman.
5. Brody S 1945 *Bioenergetics and Growth*. New York, Reinhold.
6. Mitchell H H 1962, 1964 *Comparative Nutrition of Man and the Domestic Animals* (2 Vols). New York, Academic Press.
7. O`Donovan P B 1984 Compensatory gain in cattle and sheep. *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B*, **54**:389.
8. Pearson A M and Dutson T R (eds) 1991 *Growth Regulation in Farm Animals*. London, Elsevier.
9. Reid J T (ed.) *Body Composition in Animals and Man*. Washington, National Research Council (Publication no. 1598).

الفصل الخامس عشر

مقاييس التغذية للتكاثر

مقاييس التغذية للتكاثر Feeding Standards for reproduction

يوجد تداخل بين التغذية والإنتاج والتناسل في الحيوانات المتناسلة، كما في الحيوانات النامية، حيث تزيد احتياجات الحيوان من العناصر الغذائية، ولكن بالمقابل فإن توفير العناصر للحيوان يؤثر في عملياتها التناسلية.

يبدأ تأثير التغذية في التناسل في فترة مبكرة من حياة الحيوان نظراً لأن مستوى تغذية الحيوانات الصغيرة بإمكانه التأثير في العمر الذي تصل فيه إلى البلوغ. في الحيوانات الناضجة، ويمكن أن تخفض التغذية الرديئة إنتاج البويضات "ova" وطلائع الحيوانات المنوية "Spermatozoa"، وبالتالي فإن الإناث إما أن تفشل في الحمل أو تنتج نسلاً أقل من الطبيعي (أي أن حجم الخلفة يقل). يكون للإناث في الحمل احتياجات معينة من العناصر الغذائية للمحافظة ونمو الجنين (أو الأجنة).

تكون كميات العناصر الغذائية المطلوبة لإنتاج البويضات وطلائع الحيوانات المنوية بواسطة الثدييات ضئيلة وقليلة الأهمية، ولذلك ففي حالة خنزير ذكر وينتج قذفة كبير نحو 120 – 150 مل، يقدر بأنه يحتاج إلى 0.4 ميجا جول طاقة أيضية لكل قذفة، والتي تساوي أقل من 2 % من احتياجاته من الطاقة الأيضية للحفظ (23.8 ميجا جول / يوم). ومن ناحية أخرى، ففي الطيور تكون كميات العناصر الغذائية المطلوبة لإنتاج البيض كبيرة، سوف تناقش هذه في جزء خاص من هذا الباب. حتى في الحمل، وتكون الاحتياجات من العناصر الغذائية لنمو الأجنة في المجمل العام قليلة نسبياً. على سبيل المثال، نعجة منتجة حملان توأم مجمل وزنهما 7 كجم عند الولادة سوف ترسب حوالي 1.4 كجم بروتين في الأجنة والأنسجة

المصاحبة (كالمشيمة مثلاً)، وطول فترة تتكون من 147 يوم، تكون هذه الكمية أقل من 10 جم / يوم. بالمقابل نعجة نامية تزيد في الوزن بمقدار 300 جم في الوزن الحي لكل يوم سترسب في أنسجتها حوالي 50 جم من البروتين لكل يوم. من ناحية أخرى، عند تقييم الاحتياجات من العناصر الغذائية للتناسل، هناك مميزات عديدة مهمة للعمليات التناسلية يجب تذكرها. أولها أن التناسل كثيراً ما يكون ليس العملية الإنتاجية الوحيدة التي يقوم بها الحيوان. ففي حالة الأبقار، على سبيل المثال، قد يتوقع أن الإناث الصغيرة تحمل عند 20 – 15 شهراً من العمر، عند حوالي نصف وزن أجسامها الناضجة، وعليها مواصلة النمو بينما تعمل على إنتاج عجل. بعد الولادة، سوف يتوقع أن تحمل الأنثى مرة أخرى في حدود 3 - 2 أشهر، مع أنها في كل مرة تنتج كميات كبيرة من اللبن.

الميزة المهمة الثانية بشأن احتياجات العناصر الغذائية للتناسل أنها تختلف كثيراً من مرحلة دورة تناسلية إلى أخرى. مثلاً، النعجة الحامل بتوائم سيكون لها احتياجات قليلة جداً من البروتين للنمو الجنيني عند بداية الحمل ولكن على مقربة من الأسبوع الأخير للحمل سوف ترسب ما مقداره (30 جم) من البروتين لكل يوم في الأجنة. النقطة الأخيرة هي تذكر أن التناسل كثيراً ما يكون ظاهرة "الكل أو لاشيء all or nothing "، وقد تكون مضاعفات الفشل قاسية على المزارع. لو أن بقرة لحم وجدت لمجرد أن تنتج وتربى عجولاً، وأخفقت في الحمل، فإن مردودها سيكون صفراً ومالكها سيعاني من خسارة مالية. كذلك الخلفات الصغيرة كما في حالة حمل واحد بدلاً من اثنين قد يشكل فرقاً بين الربح والخسارة، لذلك فمن المهم جداً ضمان أن تناسل حيوانات المزرعة لا يضعَّف بواسطة التغذية الرديئة.

ويميل البحث الجاري عن تأثيرات التغذية على التناسل لإحراز تقدم بطيء لأن التأثيرات ربما تكون بطيئة في إظهار أنفسها ويجب أن تكون تجارب ذوات أمد طويل. كذلك، تسبب العشوائية الكبيرة في التناسل مشاكل إحصائية والتي يمكن حلها فقط باستخدام أعداد كبيرة من الحيوانات (مثلاً 80 بقرة لكل معادلة للبرهنة على زيادة 5 % في حجم الخلفة). ومعظم البحث الحديث متعلق بالآليات التي تؤثر بها التغذية في التناسل وخصوصاً بعمليات علم الغدد الصماء. إنّ تغذية اقل من المستوى الطبيعي عامة وكذلك النقص في عنصر غذائي معين قد يتداخلان مع تصنيع هرمونات مستخدمة في التناسل. في حالات أخرى ربما يغيّر ربما تؤثر التغذية في المعدّل الذي يهدم به الهرمون عن طريق الأيض أو حساسية العضو المستهدف إلى الهرمون. سوف يشرح هذا الباب العلاقات العامة بين التغذية والتناسل عند مراحل متعاقبة من الحياة التناسلية للحيوانات، وحيثما يكون مناسباً، سوف تعرض وتناقش الاحتياجات الكميَّة من العناصر الغذائية المعينة والطاقة. سوف يوضع تركيز هام على دور المأكول من الطاقة (أو بمعنى أخر المستوى العام للتغذية) في التناسل، لأن نقص أو زيادة عناصر غذائية معينة كثيراً ما يؤثر في التناسل خلال تأثيراتها على تناول الطاقة.

التغذية وبدء القدرة التناسلية

Nutrition and the initiation of reproductive ability

يتأثر البلوغ في الأبقار وبشكل ملحوظ بمستوى التغذية الذي استخدم في تنشئة الحيوانات. ولعل الاتفاق بوجه عام، هو أن الحيوان الذي ينمو أسرع، هو الذي يصل النضج الجنسي مبكراً، ففي الأبقار، يحدث البلوغ عند وزن حي خاص أو حجم جسم وليس عند عمر مبكر ثابت. وهذا مبين في الجدول 1.15، والذي يوضح تأثيرات ثلاثة مستويات من التغذية على بدء القدرة التناسلية في أبقار اللبن. بالرغم من وجود فروق كبيرة في العمر عند البلوغ في كلا الجنسين بين المعاملات الثلاث، إلا أن الفروق في الوزن الحي وفي حجم الجسم (كما ظهر في قياسات الارتفاع عند الحارك؛ withers) كانت أصغر بكثير. إن الوصول إلى البلوغ في الأغنام منعقد بنمط موسمية التربية لديها. فولادات الربيع من الحملان الإناث والتي تغذّي جيداً سوف تصل البلوغ في بداية الخريف من نفس السنة والحملان متوسطة التغذية سوف تصل البلوغ في نفس السنة أيضاً، ولكن في نهاية موسم التربية وعند وزن حي أقل. وستخفق الحملان فقيرة التغذية في الدخول في الشبق حتى موسم التربية التالي (أي عند 18 شهراً من العمر).

جدول 1.15 العمر والحجم عند البلوغ في أبقار الهولستين (Holstein) تم تنشئتها على مستويات مختلفة من التغذية.

الجنس	مستوي التغذية (% المقياس المقبول لـ TDN)	عند البلوغ		
		العمر (أسابيع)	الوزن (كجم)	ارتفاع الحارك (سم)
إناث [a]	مرتفع (129)	37	270	108
	متوسط (93)	49	271	113
	منخفض(61)	72	241	113
الذكور[b]	مرتفع (150)	37	292	116
	متوسط (100)	43	262	116
	منخفض (66)	51	236	114

[a]: From Sorenson A M et al. 1959 *Bull. Cornell Univ. Agric. Exp. Stn*., No.936.
[b]: From Bratton R W et al. 1959 *Bull. Cornell Univ. Agric. Exp. Stn*., No. 940.

من ناحية أخرى، فإن مستويات عالية من التغذية لن تعمل على تحسن البلوغ في الخنازير إلى أي مدى ملحوظ فالمحددات الأساسية للبلوغ في الخنازير الصغيرة هي العمر (170 – 220 يوماً) السلالة، (تصل الصغار الهجينة البلوغ عند حوالي 20 يوماً قبل النقية النسب) والعمر الذي عنده تقابل الذكر (اللقاء الفجائي بعد حوالي 165 يوماً من العمر ربما يحفز الشبق الأول).

عملياً، العامل الذي يقرر عنده متى يتم استخدام الحيوان للمرة الأولى للتربية هو حجم الجسم ويكون من المعتاد عند البلوغ اعتبار الحيوانات صغيرة جداً عن التربية. هكذا بالرغم من أن العجلات الأكبر لسلالات اللبن ربما تكون قادرة على الحمل عند 7 أشهر من العمر، فهي عادة لا تلقح حتى عمر 15 شهراً على الأقل. ولعل الاتجاه الآن في الأبقار والأغنام والخنازير من كلا الجنسين هو أن تلقح عندما تكون صغيرة نسبياً، وذلك يعني أنه في

الإناث يضاف الاحتياج إلى العناصر الغذائية أثناء الحمل إلى ذلك الخاص بالنمو. إن عدم كفاية التغذية أثناء الحمل تكون مسئولة عن إعاقة النمو الجنيني وتأخر الوصول إلى وزن النضج من قبل الأم. ويكون عدم اكتمال التطور الهيكلي خطراً، بدرجة خاصة لأنه ربما يؤدي إلى صعوبات عند الولادة.

للنمو السريع والوصول المبكر للحجم الملائم للتربية ميزة اقتصادية في خفض الجزء غير المنتج في حياة الحيوان. فيما يتعلق بالحيوانات المنتجة للحم، فإن الميزة الإضافية هي أن معدّل التغذية المرتفع في بداية الحياة يسمح بالانتخاب لأغراض التربية في الأفراد التي تستجيب لوفرة التغذية بشكل أكثر إيجابية من أجل النمو وبذلك فهي ربما يتوقع أن تنتج نسلاً سريع النمو. غير أن هناك بعض العيوب للنمو السريع في قطيع التربية وخاصة عند وجود ترسب دهن زائد. ففي أبقار اللبن، التسمين في فترة مبكرة من العمر قد يضر النسيج المفرز للّبن وهناك دليل واضح على أن النمو المبكر يخفض عمر البقرة المفيد. الخنازير الصغيرة زائدة الدهن لم تتزاوج بسهولة كالحيوانات العادية، وقد تعاني أكثر من النفوق الجنيني أثناء الحمل. إن تنشئة قطيع التربية هي أمر يتطلب مقداراً من البحث طويل الأمد؛ ولعل التوصية الأفضل في الوقت الحالي هي أن مثل هذه الحيوانات يجب تغذيتها عند مستوى تغذية يسمح بزيادة سريعة في الحجم بدون ترسيب دهن زائد.

مستوى التغذية والخصوبة و وفرة النسل

Plane of nutrition , Fertility and Fecundity

إنّ المحدد الأساسي للخصوبة في الحيوانات الإناث (يعني ما إذا كان الحيوان يحمل أولاً) و وفرة النسل (يعني حجم الخلفة – مجموعة النسل في مرة واحدة) هو عدد البويضات التي تطلق من المبايض (معدّل الإباضة). ففي البقرة عادة ما يكون المعدّل 1، وفي النعجة عادة 1 – 3 (ولكن قد يصل إلى 10)، وفي أنثى الخنزير 15 – 25. ليس كل البويضات تلقح وتبقى إلى الولادة، مثلاً قطيع من 100 نعجة يمكن أن تنتج 220 بويضة في دورة شبق منفردة، قد يتم تلقيح 190 منها (أي 86 %) من 190 جنيناً ربما تبقى 175 (أي 92 %) لمدة 15 يوماً إلى المرحلة التي تصبح فيها علقة في المشيمة، ومن هذه المجموعة 170 منها(أي 97 %) ربما تكمل فترة حمل تامة من 147 يوماً. لذلك فإن النسبة النهائية للولادات (عدد الحملان المولودة لكل 100 نعجة ملقحة) يصبح 170.

منذ وقت طويل تم التعرف في الأغنام بان الإناث التي تكتسب وزناً أو مخزوناً دهنياً في فترة 3 – 4 أسابيع قبل التلقيح يرجح أن تحمل وهناك احتمال أكبر بأن يكون لها توأم أو ثلاثي (twins or triple) مقارنة بإناث في ظروف فقيرة. وأدى هذا إلى ممارسة الدفع الغذائي للنعاج عن طريق نقلها من مستوى غذائي منخفض إلى أخر مرتفع (مثلاً نقلها من مراعي التلال إلى مراعي الأراضي المنخفضة أو محاصيل علفية)، قبل التزاوج. وقد تم حديثاً إدراك أن المستوى المرتفع من التغذية بالرغم من انه ربما يكون مفيداً للنعاج التي كانت سابقاً تحت المستوى الغذائي، فإن الحيوانات التي وضعت باستمرار على مستوى مرتفع لها أيضاً

خصوبة و وفرة نسل عالية. وعموماً تقدر درجة تسمين قطيع التربية بواسطة الحالة العامة) (condition scoring، وفيها يتم جس ترسبات الدهن على طول الظهر ورأس الذيل " " tailhead وتدرج على مقياس يتراوح من 1 (منخفض) إلى 5 (عالي). ويبين الجدول 2.15 ما يسمى أحياناً التأثيرات الساكنة والديناميكية لمستوى التغذية على الحالة العامة وعلى خصوبة و وفرة النسل في النعاج. و كان الفرق الأكبر في معدّل الإباضة بين نعاج كانت في حالة جيدة عند التزاوج (درجة الحالة 3) وبين نعاج في حالة متدنية عند التزاوج (درجة 1.5). ففي النعاج الأولى هناك تأثير طفيف في تغيرات الحالة والوزن المحقق في الأسابيع الستة التي سبقت التزاوج، ولكن في النعاج الأخيرة والتي كانت حالتها قد تحسنت (من درجة 1.0 إلى درجة 1.5) أنتجت بويضات أكثر من تلك التي انخفضت حالتها (من 2.0 إلى 1.5).

لقد تم اقتراح أن الدفع الغذائي يرفع معدّل التبويض عن طريق حث الغدة النخامية لتفرز مقداراً أكبر من الهرمون المستخدم في التبويض Luteinizing hormone.وهناك تفسير أخر من وجهة نظر علم الغدد الصماء هو أن معدّل التغذية العالي يحفز إنتاج أكبر من الأنسولين، والذي يشجع استيعاب الجلوكوز وتخليق الهرمونات الستيرويدية (الدهنية) من قبل المبيض. بعد أن تكون النعجة قد لقحت، ويجب تخفيض معدل تغذية الدفع إلى حوالي معدّل الحفظ. ويظهر أن المستويات العالية بعد التلقيح تؤدي إلى مفقودات في البويضات خلال تحفيز الأيض (يعني هدم) البروجيستيرون، وهو الهرمون المطلوب لترسيخ والمحافظة

على الحمل. ويبدو في أنثى الخنزير أن للدفع الغذائي تأثيراً طفيفاً على حجم الخلفة ربما بسبب أن الخنازير تربى عامة عند مستويات من التغذية أعلى من الأغنام؛ ومن ناحية

جدول 2.15 تأثير حالة الجسم وتغيير الحالة على معدل التبويض في نعاج سلالة (Scottish Blackface)

(After Gunn R G , Doney J M and Russel A J F 1969 *J. Agric. Sci., camb.,* 73,239)

الحالة العامة[a]		الوزن الحي[a]		معدل التبويض
a	b	a	b	
3.5	3.0	67	64	2.11
3.0	3.0	62	62	2.11
2.5	3.0	60	61	2.00
2.0	1.5	52	47	1.00
1.5	1.5	44	46	1.11
1.0	1.5	39	49	1.38

عمود (a) يوضح الحالة العامة أو الوزن عند 6 أسابيع قبل التزاوج، وعمود(b) القيم المناظرة لها عند التزاوج.

أخرى، يمكن أن يؤدي الدفع في حالة الخنازير البكر لمدة 10 أيام قبل التزاوج إلى زيادة حجم الخلفة. أما في الأبقار، فإن المشكلة الرئيسية في الخصوبة هي الحصول على إعادة الحمل فيها بعد شهرين من الولادة، وهو الوقت الذي تكون فيه الاحتياجات الغذائية للإدرار عالية وكثيراً ما يجب تغطيتها جزئياً من المخزون الدهني للجسم. ففي أبقار اللبن في ولاية نيويورك، وعلى مدى فترة 17 سنة عندما ازدادت إنتاجية اللبن بحوالي 33 %، انخفضت نسبة الأبقار التي حملت استجابة لتلقيحاتها الأولى من 66 إلى 50 %. وقد قادت ملاحظات من هذا النوع إلى التوصية بأنه يجب على الأبقار إعادة كسب الوزن في الوقت الذي تلقح فيه اصطناعياً أو بواسطة طلوقة، ولكن كثيراً ما يكون من الصعب ضمان توازن إيجابي للطاقة في هذا الوقت،

حتى في الأبقار المغذاة جيداً. ففي حالات ندرة الغذاء، كما في الأبقار الموجودة على مراعي طبيعية معرضة للجفاف، يكون شائعاً أن تجد فترات بين الولادة امتدت عن الفترة المفضلة 12 شهراً إلى ما أقصاه 24 شهراً.

معدل التغذية في الحيوانات الذكور Plane of nutrition of male animals

تمثل طلائع الحيوانات المنوية"spermatozoa" والبويضات"Ova" والإفرازات المصاحبة لها في الثدييات كميات قليلة فقط من الموضوع. فمتوسط قذفة الثور، مثلاً، تحتوي 0.5 جم مادة جافة. لذلك يبدو من المعقول أن نفترض أن الاحتياجات من العناصر الغذائية لإنتاج الحيوانات المنوية والبويضات يحتمل أن تكون أصغر من أن تقارن باحتياجات الحفظ ومع عمليات كالنمو والإدرار.

لو أن الوضع بهذا الشكل، قد يتوقع المرء أن الحيوانات الذكور البالغة التي يتم الاحتفاظ بها لإنتاج المني فقط قد لا تحتاج أكثر من عليقة حفظ ملائمة لأنواعها ولأحجامها. وليس هناك دليل تجريبي تؤسس عليه مقاييس غذائية لذكور التربية، لكن عملياً تعطي تلك الحيوانات أغذية زائدة إلى حد كبير عن المطلوبة للحفظ في إناث من نفس الوزن. ولا يوجد دليل موثوق به بأن مستويات التغذية المرتفعة تكون مفيدة لخصوبة الذكر بالرغم من إدراك أن التغذية تحت المستوى الطبيعي لها تأثيرات ضارة (انظر أسفل). إن التغذية الحرة للذكور ربما تعكس الرغبة الطبيعية للمزارعين لكي لا يقعوا في خطر تغذية تحت المستوى الطبيعي مما قد يعرض الأداء التناسلي للقطيع للخطر. ومن ناحية ثانية، فإن لدى الذكور

الكاملة أيض صيام أعلى ولذلك فإن لها احتياج طاقة للحفظ أعلى من الإناث والذكور المخصية.

تأثيرات نقص عناصر غذائية معينة على الخصوبة

Effects of deficiencies of specific nutrients on fertility

يؤثر كثير من نقص العناصر الغذائية على الخصوبة بشكل غير مباشر، من خلال تأثيراتها على الأيض العام في الحيوان. فمثلاً، نقص الفوسفور في مجترات الرعي، وهو كثيراً ما يكون مصحوبا بخصوبة منخفضة، يظهر بأنه أثر في التناسل لأنه حد كثيراً من العمليات الأيضية، وبالتالي ومن المأكول من الغذاء والمستوى العام للتغذية. ومن ناحية أخرى، فإن ثمة دليلاً واضحاً بأن لنقص الفوسفور تأثيراً مباشراً على التناسل من خلال كبح دورات الشبق.

وقد يتوقع بأن نقص البروتين وخاصة في المجترات، يؤثر في التناسل بواسطة تأثيره على المأكول من الغذاء، ومن جهة أخرى، فقد اقترح حديثاً أن مكملاً من البروتين المهضوم والذي يكون غير متحلل في الكرش (DUP ؛ انظر الفصل 13) يمكن أن يزيد معدل التبويض في كل من الأغنام والأبقار. وقد تم في استراليا استخدام بذرة الترمس (Lupin seed) والتي تحتوي تركيزاً مرتفعاً من البروتين المهضوم وغير المتحلل في الكرش (DUP) وذلك للدفع الغذائي في النعاج. ولقد اقترح أيضاً أن الزيادة في البروتين المتحلل في الكرش(RDP) في غذاء أبقار اللبن يمكن أن يسبب التسمم بالأمونيا (انظر الفصل 8)، والذي يخفض بدوره الخصوبة (كما تم التعبير عنه بزيادة عدد التلقيحات المطلوبة لضمان الحمل). وأن الحرمان

من البروتين في الخنازير، على مدى قصير لم يكن له تأثير على الخصوبة، ولكن امتداد ونقص البروتين – خاصة في الحيوانات الصغرى – يؤدي لضعف تناسلي.

إن نقص فيتامين A أيضاً يجب أن يمتد كثيرا حتى يمكنه التأثير في الخصوبة؛ لذلك فإن الحيوانات ربما تعاني من العمى قبل تأثر أعضائها التناسلية (في صورة تقرن المهبل أو تفسخ الخصيتين). وحديثاً هناك إدعاء بأن لبيتا– كاروتين تأثري معين على الخصوبة (يعني مستقلاً عن دور كمادة منتجة لفيتامين A)، ولكن الإدعاء لا يزال غير مؤكد تماماً. ويسبب نقص فيتامين E انخفاض الخصوبة في الجرذان، ولكن لا يوجد دليل بأن الفيتامين يلعب دوراً ضرورياً في المحافظة على الخصوبة في الأبقار والأغنام. ومن ناحية ثانية، فقد سجل انخفاض في الأداء التناسلي في الخنازير على أغذية ينقصها فيتامين E، وهناك أيضاً دليل من تجارب باستخدام طيور داجنة ناضجة بأن استمرار نقض فيتامين E يسبب العقم في الذكر وضعفاً تناسلياً في الأنثى، وربما يصبح العقم في الذكر دائماً بسبب تغيرات انحلالية " degenerative " في الخصيتين. وفي المجترات يخفض نقص العنصر الغذائي المصاحب لفيتامين E وهو السيلينيوم الخصوبة وبشكل واضح خلال تأثيره على الإخصاب. ففي سلسلة تجارب في مناطق ناقصة السيلينيوم من نيوزيلند أدت إضافة السيلينيوم إلى زيادة النسبة المئوية لولادة الحملان (Lambing) من 89 إلى 98. التأثير المحتمل الآخر لنقص السيلينيوم على التكاثر هو تأخير إخراج المشيمة بعد الولادة في أبقار اللبن.

وقد أتضح في غير المجترات، بأن نقص مجموعة فيتامينات B المركب مثل الرايبوفلافين وحمض الفوليك تقلل بقاء الجنين.

بالإضافة إلى السيلينيوم، المعادن الصغرى من نحاس، موليبدينم، منجنيز والزنك هي مهمة في التأثير على الخصوبة. كما أن مستويات نحاس للأعشاب بأقل من

3 ملجم/كجم مادة جافة يؤخر العودة للشبق وبالتالي إطالة الفترة بين الولادتين في الأبقار. وقد يُستحث نقص النحاس عن طريق زيادة الموليبدنيم في الغذاء

(انظر الفصل 6). كما أن الموليبدنيم الزائد في غذاء الأبقار النامية يؤخر ويضعف الشبق، ويظهر بوضوح لأنه يخفض إفراز الهرمون المستخدم في التبويض Luteinizing hormone. ويضعف نقص المنجنيز الخصوبة في إناث الخنازير بسبب تأخر أو عدم انتظام دورات الشبق، أما نقص الزنك فإنه مثير للانتباه لأنه يؤثر في التناسل من خلال الذكر حيث يمنع تكون الحيوانات المنوية "Spermatogenesis"؛ الزنك عنصر أساسي في إنزيم thymidine kinase، المطلوب لتكون الحيوانات المنوية. كما يحتمل في الأنثى أن يعمل نقص الزنك على زيادة نفوق الجنين.

إنتاج البيض في الدواجن Egg Production in poultry

تنشئة الإناث Rearing hens

تُغذّى الطيور المعدة لإنتاج البيض عامة حسب الشهية وذلك أثناء فترة التنشئة، لكن في السنوات الأخيرة تم بحث إمكانيات تحديد المأكول من الغذاء. التحديد أثناء فترة التنشئة (8 - 21 أسبوعاً من العمر)، إلى 70 – 80 % مما يجب استهلاكه إرادياً، يبدو أنه يعمل على تأخير بداية إنتاج البيض وإعاقة النمو؛ وكانت هذه الممارسة مصحوبة أيضاً

بارتفاع النفوق أثناء التنشئة. ومن ناحية أخرى، لو أن تلك الطيور محددة التغذية غذيت فيما بعد، أثناء فترة وضع البيض حسب الشهية يتضح أنها تعوّض كثيراً من الأضرار السابقة. وبمجرد بدايتها في وضع البيض فهي ستنتج بيضاً بمعدل أسرع نسبياً من الطيور التي غذّيت فيما سبق حسب الشهية، ولهذا على مقربة من نهاية دورة وضع البيض (يعني عند عمر متساوٍ) ستضع عدداً متساوياً من البيض. الطيور المحددة التغذية تعوض أيضاً النقص في أوزانها الحية. وبصفة عامة، يكون النفوق أقل بين دجاج البيض الذي تم تنشئته على نظام غذائي محدد مما هو بين الطيور التي غذّيت على غذاء طبيعي، يحتمل أن يكون بسبب أن أكثر الطيور الضعيفة لم تبق حية أثناء التنشئة. الطيور التي تم تنشئتها على تناول محدود تنتج طبيعياً توفيراً في الغذاء، ولكنها ربما في الغالب تلغي هذا عن طريق تناولها غذاء أكثر في بداية فترة وضع البيض؛ التوفير الكلي الذي يكون فيه الإنتاج 50 % (يعني بيضة كل يومين) ربما يصبح 5 %. ميزة واحدة واضحة من تحديد الغذاء هي في نقص عدد البيض الصغير الذي وضع في بداية دورة الإنتاج.

الاحتياجات من العناصر الغذائية لدجاج البيض

Nutrient requirements of laying hens

ينتج القطيع الجيد من الدجاج البياض في المتوسط حوالي 250 بيضة لكل طير/سنة (يعني 70 % إنتاج). وزن بيضها في المتوسط 57 جم وله التركيب الكيميائي الموضح في جدول 3.15، وقيمة طاقة حوالي 375 كيلو جول؛ ويمكن أن تستخدم هذه المعلومات كقاعدة لحساب عاملي في الاحتياجات من العناصر الغذائية للدجاج البياض. في فترة ما،

كان الدجاج البياض يزود بالعليقة وفقاً لنظام كانت تعطي فيه كمية معينة من الغذاء لكل يوم لغرض الحفظ، وكمية معينة لإنتاج مقدّر من البيض، لكن في الوقت الحالي يغذّي معظمه وبشكل ثابت حسب الشهية. ولذلك فقياسات التغذية للدجاج البياض، كما هو الحال للأنواع الأخرى من الدواجن، يعبر عنها بشكل نسب من العناصر الغذائية بدلاً عن الكميات. الاحتياجات للدجاج البياض موضحة في ملحق الجدول 10 .

الطاقة Energy

دجاجة تزن 2 كجم يكون أيض الصيام عندها حوالي 0.36 ميجا جول/كجم وزن$^{0.75}$ لكل يوم أو 0.60 ميجا جول/يوم، وتستعمل طاقة أيضية للحفظ والإنتاج وبكفاءة مشتركة حوالي 0.8، ولذلك فإن احتياجاتها من الطاقة الأيضية لأجل الحفظ تصبح $\frac{0.60}{0.80}$ = 0.75 ميجا جول/يوم ولأجل 70 % إنتاج بيض،

$0.375 \times \frac{0.70}{0.80} = 0.33$ ميجا جول/ يوم (الإجمالي 1.08 ميجا جول/يوم). تزداد احتياجات الحفظ كلما انخفضت درجة الحرارة؛ مثلاً، طيور وزنها 2 كجم تأقلمت على 25°م قد تحتاج إلى زيادة 0.018 ميجا جول/يوم عن كل انخفاض 1°م في درجة الحرارة تحت 25°م. طريقة بديلة لتقدير الاحتياجات من الطاقة هي مطابقة معادلة الانحدار regession equation لبيانات تناول الطاقة الأيضية والوزن وتغير الوزن وإنتاج البيض من الدجاج.

من أفضل المعادلات المعروفة منها هي T.C Byerly، حيث قدرت احتياجات الحفظ لدجاجة تزن 2 كجم عند 25°م بحوالي 0.97 ميجا جول طاقة أيضية لكل يوم، الاحتياجات لأجل 70 % إنتاج بيض 0.55 ميجا جول/يوم ولأجل كسب 1 جم/يوم

0.014 ميجا جول. لذلك فإن دجاجة بنسبة إنتاج بيض 70 % ليس بها زيادة أو فقد في الوزن قد تستهلك 1.52 ميجا جول طاقة أيضية/يوم. وتوحي مقارنة هذا المقدار بالتقييم العاملي المعطي سابقاً (1.08 ميجا جول طاقة أيضية / يوم) بأن الاحتياجات من الطاقة والمقدرة تحت الظروف العملية للدجاج البياض كما في الأنواع الأخرى من الماشية تكون أعلى مما تم تقديره عاملياً.

جدول 3.15 متوسط مكونات بيض الدجاج

	لكل كجم بيض كامل	لكل بيضة وزنها 57 جم	نسبة العناصر الغذائية في الجزء المأكول من البيضة
المكونات الكلية (جم)			
ماء	**668**	**38.1**	**1.00**
بروتين	**118**	**6.7**	**0.97**
دهن	**100**	**5.7**	**0.99**
كربوهيدرات	**8**	**0.5**	**1.00**
رماد (معادن)	**107**	**6.1**	**0.04**
الأحماض الأمينية			
أرجينين	**7.2**	**0.41**	**0.97**
هستيدين	**2.6**	**0.15**	مفترض لكل الأحماض
أيزوليوسين	**6.4**	**0.369**	الأمينية
ليوسين	**10.1**	**0.57**	
لايسين	**7.9**	**0.45**	
ميثايونين	**4.0**	**0.23**	
فينايل ألانين	**6.0**	**0.34**	
ثريونين	**5.5**	**0.31**	
تريبتوفان	**2.2**	**0.13**	
فالين	**7.6**	**0.44**	
العناصر الكبرى (جم)			

كالسيوم	37.3	2.13	0.01
فوسفور	2.3	0.13	0.85
صوديوم	1.2	0.066	1.00
بوتاسيوم	1.3	0.075	1.00
ماغنيسيوم	0.8	0.046	0.58
العناصر الصغرى (ملجم)			
نحاس	5.0	0.3	1.00
يود	0.3	0.02	آثار من عناصر صغرى
حديد	33.0	1.9	في قشرة البيضة
منجنيز	0.3	0.02	
زنك	16.0	1.0	
سيلينيوم	5.0	0.3	

ومن ناحية أخرى، فقد اشتقت معادلات تنبؤ في الفترة الأخيرة تميز بين سلالات الدجاج البياض خفيف الوزن (بيض أبيض) وثقيل الوزن (بيض بني)، وان التنبؤ باحتياجات الحفظ لطيور وزن 2 كجم تكون أقل للأخيرة (0.75 مقابل 0.96 ميجا جول طاقة أيضية / يوم عند 25°م).

وفي الممارسة التجارية يغذّي الدجاج البياض غالباً وبشكل ثابت حسب الشهية؛ ويكون تناوله من الطاقة الأيضية متناسباً مع معادلات التنبؤ التي شرحت سابقاً (حوالي 1.5 ميجا جول/يوم) ويزيد 1 – 2 جم/يوم. تقوم بضبط ما تتناوله من غذاء مع تركيز الطاقة في أغذيتها لذلك لو انخفض محتوى الطاقة الأيضية في الغذاء فإنها تأكل أكثر وإذا زاد محتوى الطاقة الأيضية فإنها تأكل أقل (أنظر الفصل 17). ومن ناحية أخرى، فإن تنظيم

المأكول لا يعوض تماماً التغير في محتوى الطاقة، ولذلك يحتفظ بمحتوى الطاقة في أغذية الدجاج البياض في نطاق محدود من 10 – 12 ميجا جول طاقة أيضية/كجم (11.5 – 13.5 ميجا جول/كجم مادة جافة). وفيما يتعلق بجدول 10 ملحق فقد تم اقتراح تركيز 11.1 ميجا جول / كجم (12.5 ميجا جول/كجم مادة جافة).

ويرجح أن تركيزات دون 10 ميجا جول/كجم تضعف تناول الطاقة بما يكفي لخفض إنتاج البيض وان تركيزات أكثر من 12 ميجا جول/كجم عادة تزيد المكتسب في وزن الجسم دون عدد البيض الناتج (بالرغم من أن وزن البيض قد يزداد). إن المأكول من الغذاء من قبل الدجاج، مثل احتياجه للحفظ يتأثر بدرجة حرارة البيئة وانه ينخفض بحوالي 2 – 1 % لكل زيادة 1°م في درجة الحرارة في مدى 10 – 30°م.

البروتين **Protein**

إن الدجاج البياض الذي يزن 1.8 كجم، ومستهلكاً 110 جم / يوم من غذاء يحتوي على 11.1 ميجا جول طاقة أيضية/كجم يحتاج إلى تركيز إجمالي من البروتين حوالي 160 جم/كجم من الغذاء. ولم تعرّف الاحتياجات من الأحماض الأمينية للدجاج البياض على وجه التحديد كما هو الحال في الكتاكيت، بسبب صعوبة المحافظة على مستوى ملائم من إنتاج البيض فيما لو تم إعطاء البروتين كمخاليط أحماض أمينية نقية. وقد افترض لأجل الحسابات العاملية بأن الأحماض الأمينية قد تُدمج في بروتينات البيض بمتوسط كفاءة 0.83. فمثلاً، محتوى البيض من اللايسين هو 7.9 ملجم/جم (جدول 3.15)، ولذلك تكون

احتياجات الإنتاج للدجاج من اللايسين (يعني المتيسر) الممتص هي = 9.5 ملجم / جم $\frac{7.9}{0.83}$ في البيضة المنتجة. ومعادلة التنبؤ باحتياجات اللايسين المتيسر للدجاج هي:

$$L = 9.5\,E + 60\,W$$

حيث:

" L " = اللايسين المتيسر ملجم / يوم.

" E " = إنتاج البيض (جم / يوم).

" W " = وزن الجسم (كجم).

بناءاً عليه فإن مصطلح W60 يقدّر احتياجات الحفظ للايسين المتيسر. معادلات مماثلة متوفرة للأحماض الأمينية الضرورية الأخرى التي تم تحديد احتياجات الدجاج البياض منها؛ بالإضافة إلى اللايسين فهي تشمل ميثايونين (كثيراً ما يكون هو الحمض الأميني الحدَّي الأول للدجاج البياض)، تريبتوفان والايزوليوسين. جلايسين (أو بديله، سيرّين) يظهر بأنه غير ضروري للدجاج البياض. عندما تحدد مستويات الأحماض الأمينية في أغذية الدجاج البياض يتطلب الأخذ بعين الاعتبار حقيقة أن الطيور من ناحية فردية داخل القطيع ستنتج بيضاً بمعدَّلات مختلفة، بالتالي فإن احتياجاتها ستختلف. هذا بالطبع مشكلة مع الدواب الأخرى والعناصر الغذائية الأخرى ولكنه لاقي اهتماماً خاصاً في تطبيقه على الدجاج البياض. ويمكن رفع مستويات الأحماض الأمينية في الغذاء لضمان أن تلك الاحتياجات، مثلاً، 95 % من القطيع ستكون مرضية، ولكن ذلك سيرفع تكلفة الغذاء.

ولذلك ابتكرت نماذج لمقارنة زيادة التكاليف من رفع مستويات الأحماض الأمينية مع الزيادة المتوقعة من إنتاج البيض.

العناصر المعدنية Mineral Elements

تقدر احتياجات دجاجة البيض من الكالسيوم بحوالي 2 – 3 مرة أعلى مما هو لغير البياض، لأن الكميات الكبيرة من هذا العنصر تكون في قشرة البيض. وتقدر أدنى احتياجات لأقصى إنتاج بيض بحوالي 3 جم/يوم، ولكن لا يتحقق أقصى سمك لقشرة البيض حتى يزداد تناول الكالسيوم إلى 3.8 جم/يوم. وتضمّن الكمية الإجمالية من الكالسيوم المطلوب عامة في المجروش (الوجبة) أو محبّبات، ولكن عندما تعطي الدجاجة مصدر كالسيوم منفصل، مثل الحصى "grit"، فإنها تكون قادرة على تعديل المأكول بحسب احتياجاتها. ويصعب تحديد الاحتياجات إلى الفوسفور بسبب الشكوك المتعلقة بتيسر فوسفور الفايتيت "phytate phosphourus "؛ لذلك فالاحتياجات كثيراً ما تصاغ كفوسفور في غير الفايتيت "not – phytin phosphourus" أو كنسبة من الفوسفور غير العضوي التي تضاف إلى الغذاء.

ويرجح أن تكون عناصر أخرى ناقصة في الأغذية العادية وهي الصوديوم، الكلور، الحديد، اليود، المنجنيز والزنك. بصفة عامة يضاف الملح العادي إلى غذاء الدجاج البياض وهو مفيد في مواجهة ظاهرة الافتراس " Canniblism " ونتف الريش Feather Picking. وتم تغطية احتياجات الدواجن من الصوديوم بتوفير 3.8 جم من كلوريد صوديوم/كجم من

الغذاء، ومما لا شك فيه أن الكميات الزائدة من الملح ضارة، بالرغم من أن الطيور البالغة يمكنها مقاومة 200 جم من الملح /كجم غذاء عند توفر ما يكفي من ماء الشرب.

محتوى الحديد في البيضة مرتفع نسبياً (انظر جدول 3.15)، وهكذا فإن احتياجات دجاجة البيض تكون عالية مقارنة باحتياجات الحفظ. ومن ناحية أخرى، فإن زيادة الحديد في الغذاء مضرة وربما تسبب الكساح عن طريق جعل الفوسفور في الغذاء غير متاح. ولليود والمنجنيز أهمية وبشكل خاص لدجاج التربية نظراً لأن نقص أي منهما يؤدي إلى انخفاض في نسبة فقس البيض، وربما يخفض حيوية الكتاكيت بعد الفقس. وتتأثر الاحتياجات من المنجنيز باختلاف السلالة وبحسب مستويات الكالسيوم والفوسفور في الغذاء أيضاً، ويرجح وبدرجة أكبر أن هذا العنصر النادر يكون ناقصاً في الأغذية التي تكثر بها الذرة عنها في الأغذية المبنية على قمح أو شوفان oats. ويؤثر نقص الزنك في غذاء دجاج البيض عكسياً في إنتاج البيض وفي نسبة الفقس، وينتج عنه إنتاج كتاكيت ضعيفة وبمعدل نفوق مرتفع. وكان من الممكن في السابق استعمال معالف التغذية وأوعية الشرب المجلفنة (مطلي بالزنك galvanized) على أنها مصادر مهمة لهذا العنصر.

الفيتامينات Vitamins

ولعل أهم ميزة في الاحتياجات من الفيتامينات لدجاج البيض أن أدنى كميات مطلوبة لضمان أقصى إنتاج بيض قد تكون غير كافية للقيام بالنمو الطبيعي في الكتاكيت، قبل وبعد الفقس على حد سواء. الاحتياجات من بعض الفيتامينات غير معروفة بعد، ولكن يبدو أنه فيما يتعلق بمعظم فيتامينات B والكميات المطلوبة لأقصى نسبة فقس فهي

تقدر بأكثر مما هو مطلوب لإنتاج البيض على حدة، أما بالنسبة لفيتامينات A و D فإن الأمر ليس كذلك.

وتعتمد قيمة بيتا كاروتين كمصدر من فيتامين A للدواجن على عدد من العوامل، وقد اقترح بأنه في التطبيق العملي يجب اعتبار أن لدى هذه المادة المولدة للفيتامين ، على أساس الوزن، حوالي 33 % فقط من قيمة فيتامين A. فيما يخص فيتامين D يجب تذكر أن D_3 (كوليكالسيفيرول Cholecalciferol) يكون فعالاً في الدواجن بما يعادل 10 أضعاف D_2 (إرجوكالسيفيرول Ergocalciferol).

التغذية ونمو الجنين Nutrition and the growth of foetus

دور المشيمة The role of placenta

عندما يصبح الجنين معلقاً ببطانة الرحم، ينتج أنسجة ترتبط بتلك الموجودة في الرحم لتشكل المشيمة؛ وعند هذه المرحلة تصبح المضغة جنيناً. ووظيفة المشيمة هي إمداد الجنين بالعناصر الغذائية وإزالة النواتج الإخراجية منه، وهي تقوم بهذه الوظائف حيث أن لديها أوعية دموية من جانب الأم ومن الجنين متقاربة جداً مع بعضها. وتعبر العناصر الغذائية ونواتج الأيض من دورة دموية إلى أخرى بنفس الأنواع الثلاثة من العمليات التي تجري في القناة الهضمية (انظر الفصل 8). ويفسِّر الانتشار البسيط (يعني من تركيز عالٍ إلى منخفض) انتقال اللاكتيت، الاسيتيت، الأوكسجين، ثاني أكسيد الكربون واليوريا؛

ويصل الجلوكوز أيضاً الجنين بواسطة الانتشار ولكن بمعدل أسرع مما يحسب لمجرد درجة ميل التركيز Concentration gradient. ويجب أن تصل العناصر الغذائية التي بقيت عند تركيز أعلى في دم الجنين عنه في دم الأم الجنين بواسطة عملية تتطلب طاقة من النقل المنشّط؛ الأحماض الأمينية، الشوارد (المعادن) والفيتامينات الذاوبة في الماء إلى الجنين بواسطة هذه العملية. وتدخل الجزيئات الكبرى، مثل الليبيدات والبروتينات، فهي عموماً غير قادرة على العبور خلال المشيمة، ولكن في بعض الأنواع تسمح عملية الانغماد الخلوي pinocytosis للجلوبيولينات المناعية " lmmunoglobulins " الناتجة عن طريق الأم بالانتقال إلى الجنين. من ناحية أخرى، ففي حيوانات المزرعة، فإن هذه الجلوبيولينات المناعية وبوجه عام تنقل بعد الولادة عن طريق أول كمية مسحوبة من اللبن أو اللبأ " Colostrum ".

تنمو المشيمة أثناء الثلثين الأولين من الحمل، وفي الحيوانات التي تحمل اثنين أو أكثر من الأجنة، فإن الأنسجة المشيمة يجب أن تقسَّم بينها وبذلك يوجّه مصدر العنصر الغذائي لكل جنين مفرد، ويوقف خطر التوزيع غير المتساوي الذي قد يسبب تغذية غير كافية لبعض الأفراد ومن ثم يخفض أوزانها عند الولادة؛ وهذا كثيراً ما يكون منشأ الوزن المنخفض (التقزم runt) في الخنزير الصغير حديثة الولادة المولودة في نفس البطن.

إن كفاءة المشيمة في توفير العناصر الغذائية للجنين (الأجنة) تعتمد على نفاذيتها، وعلى تدفق تركيزات العنصر الغذائي من دم الأم، وهكذا ففي الظروف أو الحالات التي تقلل تدفق الدم إلى الرحم، كالإجهاد الحراري قد ينخفض النمو الجنيني بتحويل الدم إلى السطح الخارجي للأم.

مصدر الطاقة الرئيسي للجنين هو الجلوكوز، و تستخدم المشيمة أيضاً الجلوكوز كمصدر طاقة لعمليات النقل الخاصة بها. يستخدم الجنين معظم إمداده من الجلوكوز لتخليق والمحافظة على الأنسجة التي تتكون أساساً من البروتين. يستخدم القليل من الكميات الزائدة من الجلوكوز لتخليق مخزون طاقة في صورة الجلايكوجين والدهون.

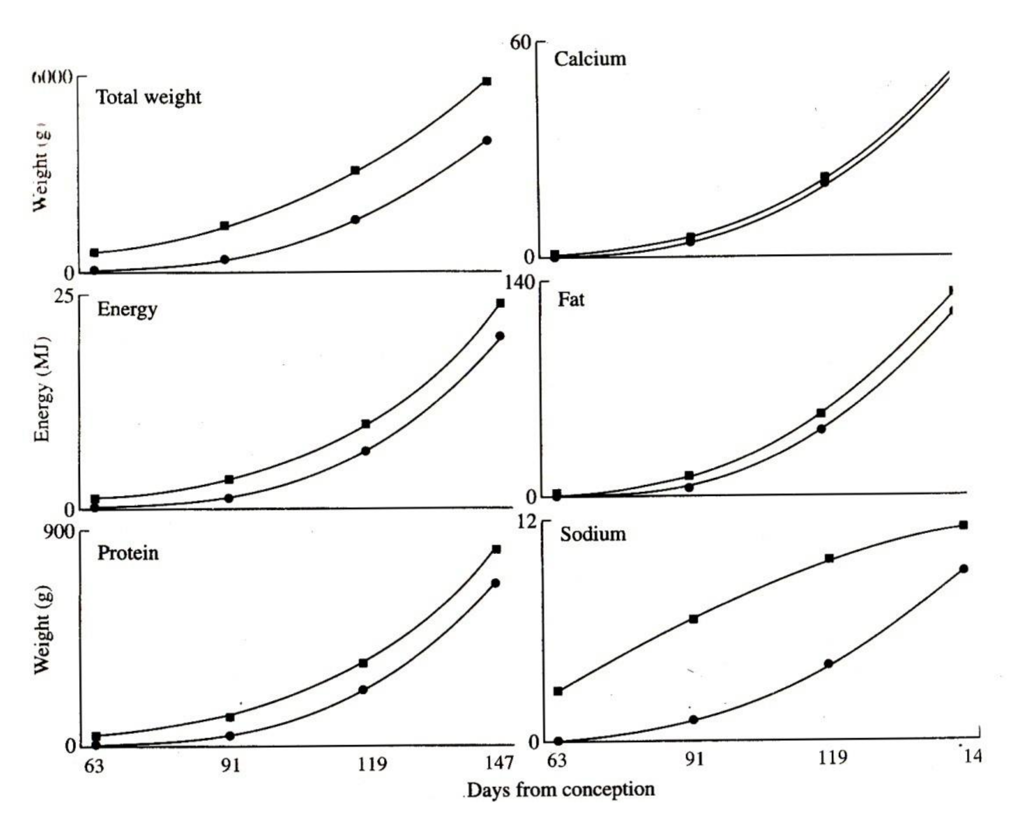
ومن ناحية أخرى، ففي حيوانات المزرعة يكون هذا المخزون قليلاً ولا يساوي أكثر من 30 جم من الدهن لكل كجم من وزن الجسم عند الولادة. وربما يستخدم كذلك بعض الاستييت acetate في المجترات لتصنيع الدهن، وفي حالات قلّة الجلوكوز، سيستخدم الجنين الأحماض الأمينية كمصدر طاقة، لكن الأخيرة مطلوبة أساساً لتخليق البروتين.

الاحتياجات من العناصر الغذائية للنمو الجنيني

Nutrient requiremens for foetal growth

يكون نمو الجنين مصحوباً بنمو المشيمة وكذلك الجيوب المحتوية على سوائل والتي تحيط بالجنين، بالإضافة إلى أن الرحم نفسه يتسع. وتعرف الأعضاء والأنسجة التي تنمو مع الجنين إجمالاً بالتوابع (Annex = Adnexa). ويمكن تحديد كميات العناصر الغذائية التي ترسَّب في الجنين عن طريق ذبح الحيوانات عند الولادة (الميلاد) وتحليلها وتحديد سياق ترسب العناصر الغذائية أثناء الحمل بواسطة تحليل الأجنة والتوابع المتحصل عليها من الحيوانات المذبوحة. ويمثل الشكل 1.15 ترسب العناصر الغذائية في أجنة أغنام وحدها وأجنة زائد توابع (رحم حامل gravid uterus)؛ وهي مبنية على تحاليل أعدت بواسطة مجلس البحوث الزراعية بالمملكة المتحدة لعدد من الدراسات التجريبية من النوع الذي أشير

إليه سابقاً، وهي تطبّق على حملان تزن 4 كجم عند الولادة، وقد أعدّت تحاليل مماثلة أعدت للأبقار والخنازير. وفيما يتعلق بوزن الرحم الحامل، وكذلك لكثير من مكوناته، فإن القيم الموضحة في شكل 1.15 صغيرة جداً حيث كانت قبل حوالي 63 يوماً (9 أسابيع) في الحمل، لكنها تزداد بعد ذلك بسرعة حتى اكتمال الحمل أي عند 147 يوماً (21 أسبوعاً). تكون الزيادة سريعة وبشكل خاص في الثلث الأخير من الحمل (أي بمعني من يوم 100 فصاعداً). تكون كذلك للجنين أسرع من الرحم الحامل، لأن التوابع تحرز نموها مبكراً في منتصف الحمل، وهذا مبين بوضوح أكثر لعنصر الصوديوم، فمعظمة يتمركز في السوائل الجنينية في منتصف الحمل. المكون العضوي الرئيسي، هو بالطبع، البروتين؛ والدهن الذي يشكل نسبة قليلة من الجنين تبلغ فقط حوالي 120 جم أو 30 جم/كجم عند اكتمال الحمل.



شكل 1.15 نمو جنين الأغنام(●) ورحم حامل (■). رسمت بيانيا من معادلات مجلس البحوث الزراعية 1980: الاحتياجات من العناصر الغذائية للماشية المجترة.

(Franham Royal, UK, Commonwealth Agricultural Bureaux

إن أشكال النمو الموضحة في شكل 1.15 قد يتم وصفها بما يعرف بمعادلات "Gompertz growth equations"، والتي لها الصيغة:

$$\log Y = A - Be^{-Cx}$$

حيث Y = وزن الجنين أو أي مكوّن منه؛ A، B ،C ثوابت؛ x = أيام الحمل. تفاضل معادلات "Gompertz" يأخذ بعين الاعتبار حساب ترسب العناصر الغذائية عند مراحل متعاقبة من الحمل، وبعض الأشكال التوضيحية مبينة في جدول 4.15.

لأغراض المقارنة، يتضمن جدول 4.15 بعض التقديرات المتعلقة باحتياجات الحفظ لنعاج تزن 40 كجم، معبّر عنها كاحتياجات صافية. حتى الثلث الأخير من الحمل، الاحتياجات من العناصر الغذائية للنمو في داخل الرحم تكون صغيرة جداً نسبة إلى احتياجات النعجة للحفظ والتي يمكن أن تُهمل. مع نهاية الحمل، فإن الاحتياجات لاحتجاز الطاقة في الرحم لا تزال قليلة (17 % من صافي احتياج الحفظ)، ولكن تلك المطلوبة لعناصر غذائية معينة تصبح بالإمكان معرفتها بشكل أكبر (مثلا الاحتياج من الكالسيوم لأجل النمو داخل الرحم تكون بمقدار أعلى مرتين من صافي احتياج الحفظ عند نهاية الحمل).

جدول 4.15 المترسب اليومي من الطاقة ومن عناصر غذائية منتخبة في رحم أغنام عند فترات متعاقبة من الحمل، وباتجاه ولادة حمل يزن 4 كجم.

(From Agricultural research Council 1980 *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham, Royal)

الأيام (والأسابيع) منذ الإخصاب	المرسب في الرحم (لكل يوم)			
	طاقة (كيلو جول)	بروتين (جم)	كالسيوم (جم)	فوسفور (جم)
(9) 63	49.3	1.80	0.05	0.06
(13) 91	145.0	5.00	0.30	0.23
(17) 119	347.0	11.56	0.85	0.45
(21) 147	699.0	22.56	1.45	0.57
نعجة،عند مستوى الحفظ[a]	4000	33	0.64	0.56

a : صافي الاحتياجات اليومية للحفظ في نعجة تزن 40 كجم.

أيض الطاقة أثناء الحمل Energy metabolism during gestation

إذا أُعطي حيوان حامل مخصص يومي ثابت من الغذاء، فإن إنتاجه من الحرارة سوف يرتفع باتجاه نهاية الحمل، وتكون الزيادة بدرجة رئيسية نتيجة الاحتياج الإضافي على الطاقة من قبل الجنين لأجل الحفظ والنمو. ولقد وجد أن الطاقة الأيضية المأخوذة من قبل الأم بالإضافة إلى احتياجها الذاتي للحفظ تُستغل بواسطة الجنين بكفاءة أقل نسبياً (يعني K_c منخفضة – انظر الفصل 11). عن كل ميجا جول إضافي، حوالي 0.13 ميجا جول فقط تحتجز في الجنين، ولكن قيمة K_c الظاهرية (0.13) لا تقارن مباشرة مع عوامل K أخرى تم شرحها في الفصل 11، لأن إنتاج الحرارة يشمل إنتاج الحرارة الأساسي من الجنين بالإضافة إلى الحرارة الناتجة أثناء تصنيع الأنسجة الجنينية. برغم ذلك، فإن احتياجات الجنين للحفظ وللنمو تؤدي إلى زيادة كبيرة في احتياجات الأم إلى الطاقة. مثلاً، نعجة تزن 40 كجم عند بداية الحمل، تحتاج إلى 6 ميجا جول طاقة أيضية لكل يوم لأجل الحفظ، سوف يزداد احتياجها الكلي من الطاقة إلى 11 ميجا جول/يوم بنهاية الحمل، ولذلك ازداد الاحتياج على الطاقة الأيضية في الحمل أقصى بكثير مما كان متوقعاً استخراجه من مخزون الطاقة في رحم حامل (جدول 4.15).

تطور الجهاز اللبني Mammary development

يحدث تطور الجهاز اللبني طوال الحمل، لكنه في المراحل الأخيرة فقط يتقدم بسرعة تكفي الاحتياج الكبير للعناصر الغذائية. حتى مع هذا فإن كميات العناصر الغذائية التي تخزن في الغدة قليلة تماماً، ففي العجلة، مثلاً، اتضح من تحليل حيوانات مذبوحة عند فترات زمنية مختلفة أثناء الحمل أنه حتى في الأسبوعين الأخيرين، مع أن نمو الجهاز اللبني متواصل عند معدلة الأسرع، إلا أن كمية البروتين المرسبة يومياً ليست أكثر من 45 جم؛ وهذه 20 % فقط من صافي الاحتياجات من البروتين لأجل الحفظ أو 30 % من ترسب البروتين اليومي في الرحم عند تلك المرحلة من الحمل.

النمو الإضافي للرحم أثناء الحمل Extra–uterine growth during gestation

إنّ الزيادات في الوزن الحي التي تُحرزها حيوانات حوامل كثيراً ما تكون أكبر بكثير مما يمكن اعتباره من نواتج الحمل لوحده. مثلاً، خلفات من 10 خنازير صغيرة وأغشيتها المصاحبة ربما تزن 18 كجم عند الولادة، لكن أنثى الخنزير كثيراً ما تكتسب فوق 50 كجم أثناء الحمل. ويمثل الفرق النمو في الأم نفسها، وربما ترسب إناث الخنزير في أنسجتها الخاصة ما مقداره ثلاثة إلى أربعة أضعاف من البروتين وما مقداره خمسة أضعاف من الكالسيوم مقارنة بما تم ترسيبه في نواتج الحمل. ويكون هذا الأيض البنائي المصاحب للحمل كما يسمى أحياناً "*pregnancy anabolism*"، ضرورياً بوضوح في الحيوانات غير الناضجة والتي لا تزال في طور النمو، ولكنه يحدث أيضاً في الحيوانات الكبيرة وإن الوزن المكتسب أثناء الحمل كثيراً ما يتم فقده في الإدرار الذي يحدث فيما بعد.

عندما ينظر إلى النمو الأمي (maternal growth) (أو إعادة النمو) على أنها ميزة ضرورية للحمل، إذاً يجب أن يعد له مخصص في مقاييس التغذية. ويوضح الجدول 5.15 تأثير تجهيز زيادة وزنية للأم في حمل 20 كجم (وقد أعد معظمه في بداية الحمل عندما كانت احتياجات النمو الجنيني قليلة جداً) على الاحتياجات من الطاقة في إناث خنزير وزن 140 كجم. الاحتياجات من الطاقة لأجل نمو الأم أكبر بكثير من احتياجات النمو الجنيني، والنتيجة أن الاحتياجات الكلية اليومية من الطاقة لا تتغير كثيراً طوال فترة الحمل. النتيجة العملية لهذا، أن إناث الخنزير تعطي معدّلاً ثابتاً من الغذاء (حوالي 2.0 – 2.7 كجم من وجبة توفر 26 – 34 ميجا جول طاقة مهضومة لكل يوم) طوال الحمل.

إن المستوى المرتفع من التغذية وخاصة باتجاه نهاية الحمل، يكون في بعض الأحيان وسيلة لإثبات زيادة وزن الميلاد في الخنازير الصغيرة، وكذلك تطور الجهاز اللبني في أنثى الخنزير؛ أعلى مخزون طاقة في الخنزير الصغير " piglet " وأعلى إنتاج لبن في الأنثى يفترض أن يعمل على زيادة حيوية ونمو المجموعة المولودة في الخلفة (litter)، ومن ناحية عملية لا يعتبر التحسن معنوياً.

مضاعفات سوء التغذية عند الحمل

Consequences of malnutrition in pregnancy

تعني سوء التغذية– أن كلاً من المأكول الزائد أو غير الكافي من العناصر الغذائية– قد يؤثر في الحمل من نواحي عديدة. وقد تموت البيضة المخصبة في مرحلة مبكرة (يعني فقد الجنين)، أو عند فترة متأخرة من الحمل قد يكون تطور الجنين غير طبيعي ويموت؛ وربما

فيما بعد يُمتص في الرحم *in utero*، ويُلفظ قبل إكمال الحمل (إجهاض) أو يحمل إلى النهاية (ولادة جنين ميت). وربما يقلل سوء التغذية غير الحاد وزن الميلاد في الصغار، وقد تتناقص حيوية النتاج عن طريق فقدان المقاومة أو من عدم كفاية المخزون (مثل الدهن). في بعض الحالات، فإن الأم هي التي تعاني من سوء التغذية وليس الجنين. وهناك أولوية عالية على العناصر الغذائية من قبل الجنين ولو انخفض المأكول للأم، فإن مخزونها سيتم استخدامه لمواجهة حاجات الجنين. وتلاحظ هذه الأولوية أكثر وبشكل ملفت للنظر في حالة عنصر الحديد، فقد يتوفر للجنين كفايته من الحديد عندما تكون الأم نفسها مصابة بفقر الدم (anaemic)، ولذلك فالحماية التي يُزوّد بها الجنين ليست مطلقة، ولكن من ناحية أخرى، عند النقص الشديد والممتد طويلاً فإن كلا من الأم والجنين سوف يقاسيان ذلك. وتختلف كذلك درجة الحماية من عنصر غذائي إلى أخر، حتى وان الضأن ربما تفقد 15 كجم من مادة الجسم أثناء الحمل وذلك نتيجة عدم كفاية مصدر الطاقة ولا تزال تلد حملاناً طبيعية، إلا أن نقص فيتامين A وبدون تأثير ظاهري على النعجة نفسها يمكن أن يؤدي إلى تغيرات غير طبيعية خطيرة في الصغير. إن تأثيرات التغذية تحت المستوي الطبيعي على الحمل يعتمد أيضاً على مخزون الأم، وبشكل خاص على مرحلة الحمل التي حدث فيها ذلك. وعموماً، يكون النقص أكثر خطراً في فترة الحمل المتأخرة، ولكن هذه القاعدة ليست ثابتة. ويمكن أن يؤدي فيتامين A في بداية الحمل، وبتعارضه مع تطور أعضاء معينة، إلى تغيرات غير طبيعية وحتى إلى النفوق في الصغار.

جدول 5.15 الاحتياجات من الطاقة المهضومة (ميجا جول / يوم) لأنثى خنزير وزنها 140 كجم وذلك لأجل الحفظ ونمو الأم عند مراحل متعاقبة من الحمل

(From Agricultural research Council 1980 *The Nutrient Requirements of* Pigs. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham, Royal)

أيام الحمل	احتياجات الحفظ	الاحتياجات لغرض نمو:		الاحتياجات الكلية
		الأجنة...الخ.	أنسجة الأم [a]	
10	**19.1**	**0.0**	**7.7**	**26.8**
40	**20.4**	**0.2**	**6.6**	**27.2**
80	**23.6**	**0.8**	**2.5**	**26.9**
115	**27.0**	**2.2**	**0.8**	**30.0**

a: زيادة وزنية عند الحمل مقدارها 20 كجم.

التأثير على الصغير Effect on the young

يجب أن يكون النقص في عناصر غذائية معينة أثناء الحمل شديداً لكي يسبب موتاً في الأجنة؛ البروتين وفيتامين A هما من العناصر الغذائية التي يحتمل أن تكون متضمنة، بالرغم من ملاحظة حالات نفوق من نقص اليود، الكالسيوم، الرايبوفلافين وحمض البانتوثينيك. وكثيرا ما تنشأ عيوب خلقية من أصل غذائي من نقص فيتامين A، والتي تسبب تشوهات في العيون والعظام بشكل خاص. ويسبب نقص اليود الدراق (Goitre تضخم الغدة الدرقية) في الصغار التي لم تولد بعد (unborn)، وقد لوحظ أنه في الخنازير ينتج عنه غياب كامل في الشعر عند الصغار. ويمكن أن ينتج غياب الشعر hairlessness أيضاً من عدم كفاية مصدر الرايبوفلافين أثناء الحمل. يؤدي نقص النحاس في النعجة الحامل إلى حالة السرح swayback في الحملان، وهي حالة انحناء العمود الفقري إلى أدنى كما تم شرحها سابقاً.

وفي المراحل المبكرة من الحمل- عندما تكون الاحتياجات الغذائية للجنين مازالت غير هامة- ربما يؤثر المأكول للأم من الطاقة على بقاء الجنين. وهناك دليل بأن كلاً من المأكول المنخفض جداً أو المرتفع جداً من الطاقة وعند هذه المرحلة من الحمل قد يكون ضاراً في الأغنام والخنازير الإناث، وخاصة التي حالاتها رديئة عند التزاوج. كما تمت مناقشته سابقاً، فإن المسبب المحتمل هو اضطراب في التوازن الدقيق للهرمون المطلوب عند هذا الوقت لانغراس الجنين. ولا تزال الاحتياجات من العناصر الغذائية للجنين في منتصف الحمل منخفضة، ولكن المشيمة يجب أن تنمو عند هذا الوقت؛ إذا تم تحديد نمو المشيمة بسبب انخفاض مستوى التغذية فهي ستكون غير قادرة على تغذية الجنين بشكل كافٍ في المرحلة النهائية من الحمل، وعليه سينخفض الوزن عند الولادة. بالنسبة للأغنام والخنازير فإن التوصية الشائعة هو أن التغذية في الثلثين الأولين من الحمل يجب أن تكون عند حوالي مستوى الحفظ وتزداد احتياجات الجنين (الأجنة) بشكل سريع في الثلث الأخير من الحمل. كما أن الاختلافات في وزن الميلاد ذات المنشأ الغذائي هي غالباً انعكاس للمأكول من الطاقة من قبل الأم أثناء المراحل الأخيرة من الحمل.

وعادة ما تكون تغذية النعاج الموجودة تحت ظروف طبيعية (مثلاً مراعي جبلية) تحت المستوى في آخر الحمل ومن ثم تفقد وزن: جدول 6.15 يبين الربط بين الفقد في الأوزان وأوزان الميلاد لحملانها.

يجب أن تولد الحيوانات الصغيرة بمخزون من العناصر المعدنية، وبصفة خاصة من الحديد والنحاس ومن فيتامين A، D و E، لأن اللبن والذي قد يكون هو مادة الغذاء

الوحيدة ولفترة بعد الولادة، كثيراً ما يكون غير مزود بما يكفي من هذه العناصر الغذائية. وفيما يتعلق بالحديد، يظهر أنه عندما تكون الأم نفسها مزودة بما يكفيها وليست مصابة بفقر الدم فإن إعطاء حديد زائد، إما في غذائها أو عن طريق الحقن، سوف لن يكون له تأثير على مخزون الحديد في المولود حديثاً newborn. ومن ناحية أخرى، عندما تكون الأم مصابة بالأنيميا، فإن هذا المخزون– ولو أنه ليس هيموجلوبين– قد ينخفض. ويكون مخزون النحاس والفيتامينات الذائبة في الدهن حساسة أكثر للتحسن بتغذية الأم.

التأثيرات على الأم Effects on mother

قد تعني الأولوية العالية من قبل الجنين على العناصر الغذائية أن الأم هي التي تتأثر وبشدة أكثر بسبب النقص الغذائي. إن قدرة الجنين على جعل الأم مصابة بالأنيميا ذكر سابقاً؛ ويعتبر هذا الوضع غير اعتيادي في حيوانات المزرعة نتيجة أن أغذيتها عادة مزودة جيداً بالحديد. للجنين احتياجات عالية من الكربوهيدرات، واستناداً إلى أولوياتها فهي قادرة على المحافظة على تركيز السكر في دمه عند مستوى أعلى مما عند الأم. إذا كان مصدر جلوكوز الأم غير كافٍ فإن الجلوكوز في دمها سينخفض بشكل واضح، إلى مستويات تتأثر عندها الأنسجة العصبية (الأنسجة التي تعتمد على الكربوهيدرات لأجل الطاقة).

ويحدث هذا في الأغنام في حالة تعرف بتسمم الدم أثناء الحمل "*pregnancy toxaemia*" وهو متفشٍ في النعاج وفي الشهر الأخير من الحمل. حيث تصبح النعاج المصابة قليلة النشاط "dull" وميالة إلى النوم "lethargic"، وتفقد شهيتها وتظهر عليها

علامات عصبية مثل الارتجاف trembling وتبقى الرأس في زاوية غير اعتيادية؛ في الحيوانات التي تظهر عليها تلك العلامات قد ترتفع نسبة النفوق بما يعادل 90 %. يحدث المرض بتكرار أكثر في النعاج التي لديها أكثر من جنين واحد -عندها فإن الاسم البديل له هو مرض الحمل التوأم " twin lamb disease "- ويكون أكثر انتشاراً في أوقات ندرة الغذاء وعندما تكون النعاج قد تعرضت إلى الإجهاد في شكل طقس عاصف أو أثناء النقل. يكون فقد الشهية يكون شائعاً وخصوصاً بين النعاج السمينة. وكثيراً ما تبين عينات الدم من الحيوانات المصابة، ارتفاعاً ملحوظاً في محتوى الكيتون، وزيادة في الأحماض الدهنية الحرة هذا بالإضافة إلى نقص السكر "hypoglycaemia". ربما يعاني الحيوان في المراحل المتأخرة من المرض من تحمض الدم الأيضي "metabolic acidosis" وفشل كلوي.

جدول 6.15 تأثيرات المأكول من الطاقة خلال الستة أسابيع الأخيرة من الحمل على زيادات الوزن الحي في النعاج وعلى الأوزان عند الميلاد لحملانها التوائم.

(From Gill J and Thomson W 1954, J. Agric. Sci., Camb., 45,229)

المجموعة	المأكول من الطاقة ميجا جول/طاقة أيضية/ يوم	تغير الوزن الحي في النعاج (كجم)[a]	وزن الميلاد للحملان (كجم)
1	9.4	- 14.5	4.3
2	12.4	- 12.7	4.8
3	13.9	- 11.4	5.0
4	18.6	- 5.4	5.2

a: اعتباراً من 6 أسابيع قبل الولادة إلى ما بعد الولادة مباشرة.

يبدو أنه يوجد هناك أكثر من مسبب واحد لتسمم الدم أثناء الحمل، والأسباب الرئيسية ذات القابلية هي وبدون شك الاحتياجات العالية من الجلوكوز من قبل الجنين ومحتمل هبوط مصدر الكربوهيدرات عند الأم، والذي قد ينتج خلال نقص الغذاء أو خلال انخفاض الشهية في أواخر الحمل. ويتوقف أحد التفسيرات البيوكيميائية للمرض على حقيقة

أن دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل (tricarboxylic acid cycle ؛TCA) لا تعمل بشكل صحيح بدون مصدر كافٍ من أوكزال أسيتيت، والذي يشتق من الجلوكوز أو من تلك المواد المولدة للجلوكوز كالبروبيونيت، الجلايسرول وأحماض أمينية معينة.

إذا تقلص مصدر أوكزال أسيتيت فإن اسيتيل قرين أنزيم A (acetyl – co A) والذي يشتق من الدهون أو من اسيتيت ناشئ خلال تخمرات الكرش، يكون غير قادر على الدخول إلى دورة الاحماض ثلاثية الكربوكسيل "TCA"، وهكذا فإنه يتخذ مسار بديل في الأيض والذي سينهي إلى تكوين اسيتو أسيتيت acetoacetate، بيتاهيدروكسي بيوتيريت B hydroxybutyrate– والأسيتون Acetone. وفي حالة تسمم الدم أثناء الحمل قد يتغير التوازن بين المواد الناشئة عن الأيض المطلوبة للدخول في الدورة عن طريق انخفاض تيسر الجلوكوز وزيادة في إنتاج Acetyl – Co A، وقد يكون سبب الأخير بأن الحيوان كان لزاماً عليه أن يستقلب مخزونه من دهن الجسم. لذلك فإن الأعراض السريرية قد تعزي إلى كل من نقص السكر والى تحمض الدم " acidosis " الناتج من زيادة الأجسام الكيتونية في الدم Hyperketonaemia. وثمة عامل إضافي آخر وهو زيادة إنتاج الكورتيزول من قبل قشرة الغدة الكضرية استجابة للإجهاد ربما يخفض استغلال الجلوكوز؛ وقد تمتد هذه الاحتمالية مدعومة بحقيقة أن زيادة الأجسام الكيتونية في الدم حتى بعد أن يكون مستوى الجلوكوز في الدم قد رجع إلى مستواه الطبيعي.

لقد تمت معالجة المرض عن طريق حقن الجلوكوز، بواسطة التغذية على مواد يرجح أن ترفع مستويات الجلوكوز في الدم، أو بالعلاج الهرموني. لقد تحقق نجاح متوسط فقط،

ومن ناحية أخرى، وليس هناك شك أن التحكم في تسمم الدم أثناء الحمل يقع على كاهل مربي الأغنام وليس على الطبيب البيطري.

ويمكن الحد من الحالة عن طريق ضمان مصدر غذاء كافٍ في أواخر الحمل وعن طريق استخدام الأغذية التي توفر الجلوكوز أو المواد التي يصنع منها وليس الاسيتيت، يعني ذلك مركزات وليس أعلاف خشنة.

مراجع الفصل الخامس عشر

1. Agricultural Research Council 1980 *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux.
2. Agricultural Research Council 1981 *The Nutrient Requirements of Pigs*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux.
3. Agricultural Research Council 1984 *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*, *Supplement No. 1* Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux.
4. Blaxter K L 1967 *The Energy Metabolism of Ruminants*. London, Hutchinson.
5. Cupps P T 1991 *Reproduction in Domestic Animals*. New York, Academic Press.
6. Dunn T G and Moss G E 1992 Effects of nutrient deficiencies and excesses on reproductive efficiency of livestock. *Journal of Animal Science,***70**:1580.
7. Mahan D C 1990 Mineral nutrition of the sow. *Journal of Animal Science*, **68**: 573.
8. Mitchell H H 1962, 1962 *Comparative Nutrition of Man and the Domestic Animals* (2 Vols), New York, Academic Press.
9. Robinson J J 1990 Nutrition in the reproduction of farm animals. *Nutrition Research Reviews*, **3**: 253.
10. Rook J A F and Thomas P C (eds) 1983 *Nutritional Physiology of Farm Animals*. London, Longman.

الفصل السادس عشر

الإدرار

نحن الآن نهتم بالاحتياجات من العناصر الغذائية لأجل إنتاج اللبن، والذي يتضمن تحويل عناصر غذائية وعلى نطاق واسع فهي إنجاز بيوكيميائي فسيولوجي هائل. وقد تنتج بقرة اللبن عالية الإنتاج، مثلاً، في موسم إدرار واحد ما مقداره خمسة أضعاف من المادة الجافة في شكل لبن بقدر ما في جسمها. وتتوفر المواد الخام التي تشتق منها مكونات اللبن، والطاقة اللازمة لتصنيع البعض منها في الغدة اللبنية، عن طريق الغذاء. ويعتمد الاحتياج الفعلي من الغذاء على كمية ومكونات اللبن المنتج. ومن ناحية النوعية يكون لبن كل الأنواع متشابهاً في التركيب، بالرغم من أن المكونات التفصيلية للأجزاء المختلفة مثل البروتين والدهن تختلف من نوع إلى نوع ويوضح الجدول 1.16 التركيب النموذجي في لبن حيوانات المزرعة.

جدول 1.16 مكونات اللبن في حيوانات المزرعة(جم/كجم)

	دهن	جوامد غير دهنية	بروتين خام	لاكتوز	كالسيوم	فوسفور	ماغنيسيوم
بقرة	37	90	34	48	1.2	0.9	0.12
معزاة	45	87	33	41	1.3	1.1	0.20
نعجة	74	119	55	48	1.6	1.3	0.17
خنزيره	85	120	58	48	2.5	1.7	0.20

إنّ المكون الرئيسي للبن هو الماء، وهناك مدى واسع من المواد المذابة في الماء منها عناصر غير عضوية، مواد نيتروجينية ذائبة كالأحماض الأمينية، كرياتين، اليوريا، وبروتين

الالبيومين الذائب في الماء، اللاكتوز، الإنزيمات، فيتامينات B المركب الذائب في الماء وفيتامين " ج ". في المعلق الغروي وتوجد داخل هذا المحلول مواد غير عضوية، معظمها مركبات كالسيوم وفوسفور، وبروتين الكازين. وينتشر في كل الجانب المائي معلق كريات دقيقة من دهن اللبن حيث يمثل ثلاثي أسيل الجلايسرول "Triacylglycerol" حوالي 98 % من الجزء الدهني، ويتكون الباقي من مواد معينة مصاحبة للدهن مثل الليبيدات الفوسفورية، كوليستيرول، فيتامينات ذائبة في الدهن وصبغات ومقادير ضئيلة من البروتين والمعادن الثقيلة. و يشار عادة إلى الجزء الدهني بمجرد " دهن "، و تصنف المكونات الباقية الأخرى عدا الماء كجوامد غير دهنية (SNF ؛ Solids – not – fat).

مصادر مكونات اللبن Sources of the milk constituents

تصنع جميع مكونات اللبن الرئيسية أو معظمها في الغدة الثديية وذلك من مواد مختلفة تُشكل منها هذه المكونات وهي تمتص بانتقاء محدد من الدم. وتقوم الغدة كذلك بعمل هذه التصفية الانتقائية على البروتينات، المعادن وفيتامينات معينة والتي ليست مُعدة بواسطتها ولكن بمجرد نقلها مباشرة من الدم إلى اللبن.

بروتينات اللبن Milk Proteins

يكون حوالي 95 % من النيتروجين في اللبن في صورة بروتين، ويتواجد الباقي في مواد مثل اليوريا، الكرياتين، جلوكوز آمين وأمونيا والتي تترشح من الدم إلى اللبن. يعمل اللبن في هذه الناحية منفذاً إخراجياً بديلاً بالقياس إلى البول. وتسود جزء البروتين الكازينات caseins ويوجد في لبن البقرة خمسة من الكازينات

α_{s1}-، α_{s2} -، β-، κ- و γ–كازين، والتي تحتوى مع بعضها حوالي 78 % من النيتروجين الكلي في اللبن. البروتين الذي يليه في الكمية الأكبر هو بيتا–لاكتوجلوبيولين ويتكون الجزء الباقي من كميات صغيرة من α– البيومين، البيومين المصل والجلوبيولين المناعي، جلوبيولين زائف وجلوبيولين حقيقي وتمتص جميعها مباشرة من الدم.

تُمتص الأحماض الأمينية بواسطة غدة اللبن بكميات كافية لأجل البروتين المصنع بداخلها. تحدث تحويلات متبادلة كبيرة للأحماض الأمينية قبل التصنيع وهناك أحماض أمينية معينة تكون مهمة كمصادر لأحماض أخرى. مثلاً الأورنيثين (ornithine) والذي لا يظهر في بروتين اللبن، يُمتص ويحتجز بكميات كبيرة من قبل الغدة الثديية وقد اتضح بأنه المادة التي تتشكل منها أحماض البرولين وجلوتاميت وأسبارتيت. وتصنّع المكونات الكربوهيدراتية الداخلة مع البروتينات في الغدة الثديية، كما تحدث فسفرة أحماض السيرَين والميثايونين قبل دمجها في الكازينات.

سكر اللاكتوز Lactose

باستثناء مقادير ضئيلة من الجلوكوز، السكريدات القليلة المتعادلة والحمضية والجالاكتوز فإن اللاكتوز هو الكربوهيدرات الوحيد في اللبن. من الناحية الكيميائية فإن جزيئاً من اللاكتوز يُنتج عن طريق اتحاد جزئ واحد من الجلوكوز مع جزئ واحد من الجالاكتوز في وجود أنزيم معتمد على α – البيومين (الفصل 9).

يشتق الجالاكتوز وبشكل كامل من الجلوكوز ولكن جزءاً قليلاً منه يأتي من الأسيتيت والجلايسرول أما الجلوكوز فيشتق فعلياً من الدم.

دهن اللبن Milk Fat

يتألف دهن اللبن باستثناء الجزء الثانوي المرتبط بغشاء كريه الدهن، من مخلوط من ثلاثي أسيل جلايسرول يحتوي مدى واسعاً من أحماض مشبعة وغير مشبعة. الحمض السائد هو البالميتك Palmetic وتتألف الأحماض غير المشبعة أساساً من حمض أوليك Oleic مع مساهمات قليلة من لينوليك ولينولينك " Lenolic and Lenolenic ". وقد قدمت النسب المولارية للأحماض الدهنية في دهون اللبن ولأنواع مختلفة في الجدول 2.16.

تتميز الدهون بوجود أحماض دهنية ذوات سلسلة متوسطة الطول (0:8 إلى 0:12) وهي خاصة بالغدة الثديية و تتميز علاوة على ذلك دهون لبن الحيوان المجتر بوجود أحماض منخفضة الوزن الجزيئي butanoic; 4 : 0 و hexanoic ; 0:6 وهنا تشكل 0.05 من مجموع الأحماض الدهنية، على الأساس المولاري. يحتوي دهن لبن الفرس هذه الأحماض أيضا ولكن الخيول متكيفة أيضا على تخمر العلف الخشن وبالتالي على إنتاج أحماض دهنية طيارة في القناة الهضمية.

جدول 2.16 تركيب الأحماض الدهنية (نسب مولارية في ليبيدات اللبن)

(From Bickerstaff R 1970 Uptake and metabolism of fat in the lactating mammary glands, In Falconer I (ed.) Lactation. London, Butterworth)

الحمض الدهني	بقرة	معزاة	خنزيرة	فرس
الأحماض المشبعة				
Butanoic	**0.031**	**0.013**	–	**0.004**
Hexanoic	**0.019**	**0.028**	–	**0.009**
Octanoic	**0.008**	**0.083**	–	**0.026**
Decanoic	**0.020**	**0.129**	**0.002**	**0.055**
Dodecanoic	**0.039**	**0.036**	**0.003**	**0.056**
Tetradecanoic	**0.106**	**0.102**	**0.033**	**0.070**
Hexadecanoic	**0.281**	**0.245**	**0.303**	**0.161**
Octadecanoic	**0.85**	**0.098**	**0.040**	**0.029**
الأحماض غير المشبعة				
Hexadecenoic	–	**0.009**	**0.099**	**0.075**
Octadecenoic	**0.364**	**0.233**	**0.353**	**0.187**
Octadecadienoic	**0.037**	**0.018**	**0.130**	**0.076**
Octadecatrineoic	–	–	**0.025**	**0.161**
أحماض أخرى	–	**0.008**	–	**0.081**

ويعرض الجدول 3.16 تحليلاً مفصلاً أكثر لدهن اللبن البقري ويوضح المدى الواسع من الأحماض الدهنية الموجودة. يوجد هناك مجموع 22 حمض، ويتضمن ذلك ذوات الأعداد الفردية من ذرات الكربون وذوات السلاسل المتفرعة.

جدول 3.16 مجموع الأحماض الدهنية في تركيب لبيدات اللبن البقري

(From Jensen R G, Ferrier AM and Lammi-Keefe CJ 1991 *J. Dairy Sci.,* 74,3228)

الحمض الدهني	الوزن (%)	الحمض الدهني	الوزن (%)
ك 0:4	1.61	ك 0:15	1.38
ك 0:6	1.90	ك 0:16[a]	0.35
ك 0:8	1.30	ك 1:16	32.31
ك 0:10	3.25	ك 0:16	3.55
ك 1:10	0.32	ك 0:17	1.11
ك 0:12	3.66	ك 0:18[a]	0.50
ك 1:12	0.12	ك 0:18	7.82
ك 0:13	0.21	ك 1:18	22.44
ك 0:14[a]	1.48	ك 2:18	2.59
ك 0:14	11.28	ك 3:18	1.33
ك 1:14	1.34	ك 0:20	0.15

a: سلسلة الحمض متفرعة

تشتق الأحماض الدهنية في دهن اللبن من مصدرين، الأول هو حبيبات الدهن المجهرية الشائعة في الدم أثناء هضم وتمثيل الدهن (Chylomicrons) ومن بروتينات دهنية ذوات كثافة منخفضة جداً والمصدر الثاني تخليق من الأسيتيت خلال مسار Malonyl - COA في العصارة الخلوية. وينتج الاسيتيت في الحيوانات غير المجترة من الجلوكوز الممتص من الدم، بينما يشتق في المجترات من اسيتيت الدم المتداول. ويوفر الجلوكوز أيضاً بعضاً من جزء الجلايسرول في ثلاثي أسيل الجلايسرول خلال مسار Glycero –3–Phosphate بالإضافة إلى $NADP^+$ المختزل المطلوب لتخليق الأحماض الدهنية في العصارة الخلوية.

والناتج الرئيسي لهذا المسار هو حمض البالمتيك "Palmitic acid". وهناك دليل بأنه في غير المجترات قد يخضع هذا الحمض إلى استطالة السلسلة ولكن في المجترات لا يبدو أن الأمر كذلك. وتنتج الأحماض 8 : 0 و 12 : 0 قبل أوان توقّف المسار. ويكون هذا بالفعل الإنزيمي في غير المجترات بينما في المجترات فهي خاصية فطرية في نظام الإنزيم المصنع "Synthase" وتحدث إزالة لتشبع (desaturation) للأحماض في النسيج اللبني في كلا المجترات وغير المجترات، وتكون النواتج هي أحماض

18 : 1، 16 : 1. تنتج الأحماض 4 : 0 و 6 : 0 بدرجة رئيسية عن طريق التصنيع المتجدد (*de novo*) من اسيتيت الغدة اللبنية. ومن ناحية أخرى، قد يمتص

D-3-hydroxyybutyrate من الدم ويستخدم كمصدر لتكوين "butyryl – COA" والذي ينضم فيما بعد إلى المسار في العصارة الخلوية. ويكون نسيج الغدة اللبنية في المجترات فريداً في كونه قادراً على أسترة هذه الأحماض إلى ثلاثي أسيل جلايسرول. وتنشأ حوالي نصف مجموع أحماض دهن اللبن من كل مصدر، و تنشأ في النهاية كل أحماض دهن اللبن تنشأ في نواتج الهضم ولكن لا تعمل كلها ذلك مباشرة. يأتي بعضها من أسيتيت داخلي وأحماض دهنية بعد التخزين في الجسم. ولعل ذلك الجزء من جلايسرول الدهن والذي لم يشتق من الجلوكوز نشأ من أسيل جلايسرول الموجود في الدم.

يتأثر إنتاج دهن اللبن بتوازن تصنيع الدهن وتحركه، ويكون هذا تحت تحكم هرموني ولكنه يعتمد علي توازن المواد المولدة للجلوكوز في نواتج الهضم. ولهذا فإن نسبة عالية من

البروبيونيت، الجلوكوز و الأحماض الأمينية تعزز ترسب الدهن في النسيج الدهني وتؤدي إلى انخفاض توفر المواد التي يتشكل منها الدهن في الغدة الثديية.

المعادن Minerals

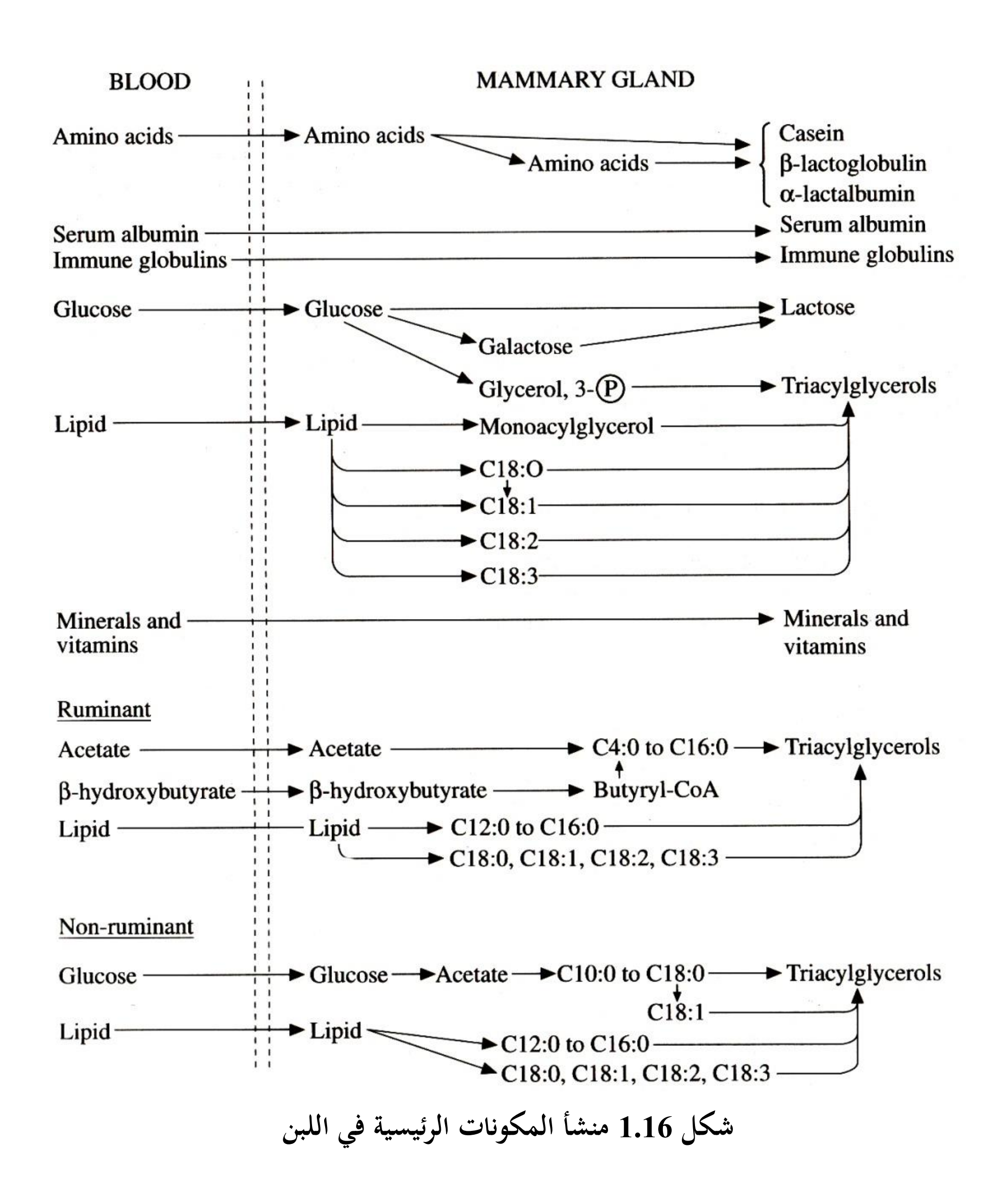
يمكن تقسيم العناصر غير العضوية في اللبن وبشكل ملائم إلى مجموعتين الأولى وتتكون من العناصر الرئيسية الكالسيوم، الفوسفور، الصوديوم، الماغنسيوم والكلور، أما المجموعة الثانية، فهي العناصر الصغرى وتتألف من نحو 25 عنصراً وهي التي قد تم إثبات وجودها تماماً في اللبن؛ وتشمل هذه معادن (فلزات) مثل الألومينيوم والقصدير وأشباه الفلزات، كالبورون، الزرنيخ، والسيليكون والهالوجينات، مثل الفلور، البروم واليود. وتوجد تلك المواد بكميات قليلة جداً في اللبن يتوافق مع وجودها في الدم؛ برغم ذلك فقد يكون لها صلة مهمة بالقيمة الغذائية للَّبن والصحة ورفاهة الحيوان الرضيع. وتمتص المكونات غير العضوية للَّبن مباشرة من الدم عن طريق الغدة الثديية، والتي تُظهر انتقائية فائقة؛ والغدة قادرة على إعاقة دخول بعض العناصر، مثل السيلينيوم والفلور، ولكنها تسمح بمرور الأخرى مثل الزنك والموليبدينم. ربما تكون هذه الانتقائية عائقاً جديراً بالاهتمام عندما يعمل ضد العناصر التي يكون وجودها مرغوباً بمستويات متزايدة في اللَّبن. النحاس والحديد، مثلاً، كلاهما عناصر مهمة في تكوين الهيموجلوبين (خضاب الدم) ولذلك فهي مهمة لتغذية الحيوان الصغير.

علاوة على ذلك فبالرغم من حقيقة أن مستويات الحديد والنحاس في اللَّبن لم تكن كافية مطلقاً، فلا يمكن رفعها عن طريق إعطاء كميات زائدة إلى الحيوان المنتج للَّبن حتى ولو ارتفعت مستويات هذه العناصر في الدم. و قد يصل محتوى الحديد في اللبأ (Colostrum)، اللبن المنتج في الفترة بعد الولادة مباشرة، إلى 15 ضعفاً مما في اللبن العادي. ومن ناحية أخرى، فإن نقل المواد بين الدم واللبن أثناء هذا الوقت يكون غير طبيعي.

الفيتامينات Vitamins

لا تصنّع الفيتامينات في الغدة الثديية وتكون الكمية الموجودة منها في اللبن ممتصة من الدم. إنّ لدى اللبن فعالية فائقة من فيتامين A لوجود كل من فيتامين A وبيتا كاروتين كميات فيتامينات C و D قليلة جداً ويوجد فيتامين E وفيتامين k كمقادير ضئيلة فقط. يوجد مدى كبير من فيتامينات B في اللبن تشمل الثيامين، الرايبوفلافين، حمض النبكوتين، B_6، حمض بانتوثينك، بيوتين، فولاسين، كولين، B_{12} والإنوسيتول anositol. ويلخص شكل 1.16 منشأ مصادر مكونات اللبن.

سوف يتضح مما سبق بأنه يجب تزويد الغدة الثديية بمدى واسع من المواد لتأدية وظيفتها في إنتاج اللبن. ولكي يتم تخليق بروتينات معينة في اللبن، يجب توفر عدد من الأحماض الأمينية الأساسية، أضف إلى ذلك، فإن مصدراً للأحماض الأمينية الأساسية أو مواد أولية لتصنيعها يجب توفرها كذلك، ولهذا فإنه يمكن على هذا النحو توفير أنواع من بروتينات اللبن غير المخصصة.



شكل 1.16 منشأ المكونات الرئيسية في اللبن

يكون الجلوكوز والخلات مطلوبة لتصنيع اللاكتوز والدهن، ويجب توفير العناصر المعدنية والفيتامينات بكميات تسمح بالمحافظة على مستويات طبيعية من مكونات اللبن هذه. إن المواد نفسها، أو مواد أولية تُنتج منها، يجب توفرها إما من الغذاء أو من منتجات النشاط الميكروبي في القناة الهضمية.

احتياجات الأبقار المدرة للّبن من العناصر الغذائية

Nutrient requirements of the lactating dairy cow

إن احتياجات بقرة اللبن إلى العناصر الغذائية لغرض إنتاج اللبن تعتمد على كمية اللبن المنتجة وعلى مكوناتها.

إنتاج اللبن Milk yield

يحدد إنتاج اللبن أساساً بواسطة سلالة البقرة، ويمكن القول بشكل عام أن ترتيب الإنتاج لسلالات اللبن الانجليزية يكون الهولشتين، الفريزيان، الآيرشاير، الجيرنسي ثم الجيرسي (جدول 4.16)

جدول 4.16 إنتاج اللبن لسلالات أبقار اللبن الانجليزية الرئيسية

(From Dairy Facts & Figures 1992)

السلالة	متوسط إنتاج موسم الإدرار(كجم)
الهولشتين الانجليزي	6825
الفريزيان الانجليزي	6037
الآيرشاير	5453
الجيرنسي	4396
الجيرسي	4262

ومع ذلك، توجد اختلافات كبيرة داخل السلالة فيما يتعلق بالعرق والأفراد. ولذلك فإن سلالات وأفراداً معينة من أنواع منخفضة الإنتاج ربما تفوق إنتاج البعض من أنواع عالية الإنتاج. وتميل الأبقار الكبيرة بأن لديها إنتاجاً أعلى من الأبقار الصغيرة ولكن العامل الرئيسي على المدى القصير والمؤثر في إنتاج اللبن هو مرحلة الإدرار. ويزداد الإنتاج عموماً من الولادة إلى حوالي 35 يوماً التالية للولادة ومن ثم ينخفض تدريجياً بمعدل حوالي 2.5 % لكل أسبوع وذلك إلى نهاية الإدرار. وكثيراً ما يصل إلى قمة الإنتاج في فترة مبكرة من الإنتاج وذلك في حالات فردية ويكون الانخفاض فيما بعد أكثر حدة. وكنتيجة لهذه العوامل قد يختلف إنتاج اللبن على مدى واسع جداً، ولكن لحسن الحظ فإن تلك الاختلافات تمثل عقبة بسيطة في تقدير الاحتياجات من العناصر الغذائية للبقرة نظراً لقياس الإنتاج بشكل تقليدي بسيط.

عندما تكون تقديرات الإنتاج ضرورية لتخطيط طويل الأجل لتغذية أبقار مدرة للّبن، يمكن عمل واستخدام مبادئ عامة تسمح بالتنبؤ بالإنتاج عند مرحلة معينة من الإدرار، وهكذا يمكن حساب إنتاج القمة في كاثنين بالمائة (2 %) من الإنتاج المتوقع للإدرار أو 1.1 مرة من الإنتاج المسجل لأسبوعين تلي الولادة، مثلاً بقرة منتجة 23 كجم عند هذا الوقت يمكن توقع قمة الإنتاج لها 25 كجم. إن افتراض معدل تناقص أسبوعي من قمة الإنتاج يساوي 2.5 % لكل أسبوع يكون مفيدا في التنبؤ بإنتاج اللبن، إضافة إلى مراقبة الانحرافات عن الحالة الطبيعية أثناء تقدم الإدرار. و قد أدت تكون تلك التقديرات غير

دقيقة نسبياً والمحاولات لزيادة الدقة إلى توصيفات رياضية متطورة جداً للتغيرات في الإنتاج مع تقدم الإدرار.

لقد اقترح P.D.P. Wood بأن إنتاج اللبن عند أي يوم بعد الولادة (Y) يمكن حسابه مستعملاً معادلات من النوع التالي:

$$Y(n) = an^{b} e^{-cn}$$

حيث n هو أسبوع الإدرار، a قيمة عددية إيجابية متعلقة مباشرة بإنتاج اللبن الكلي، b هي دليل قدرة الحيوان على استغلال الطاقة لإنتاج اللبن، c معدل التناقص التلقائي.

ويمكن الحصول على قيم لكل من a، b، c من بيانات إنتاج الإدرار بواسطة طريقة أقل مربعات Least – Square Procedure بعد ذلك يمكن استخدام ثوابت لمجموعات إنتاج للتنبؤ بأسبوع قمة الإنتاج (c\b) والإنتاج اليومي في أسبوع ما من الإدرار. وتعادل القيم النموذجية لبقرة ذات إنتاج متوقع للإدرار 5500 كجم تصبح:

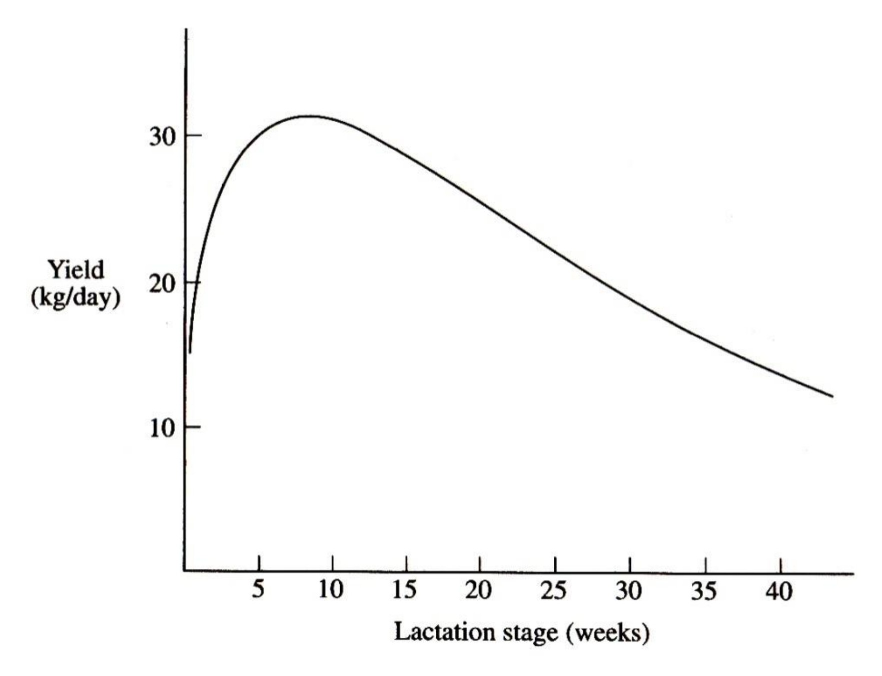
26.69 = a
0.03996 = b
0.00942 = c

سيكون أسبوع قمة الإنتاج 4.24 (0.03996 \ 0.00942) وان أقصى إنتاج يومي متوقع هو 27.17 كجم. إن المنحنى ألاستنتاجي للإدرار لبقرة تُنتج 7000 كجم في مدة 44 أسبوعاً موضحة في شكل 2.16.

لقد انتُقدت معادلة Wood في أنها تنبأت بالإنتاج الصفري عند الولادة، وهو بوضوح ليس كذلك، وقد تم وضع بدائل أكثر تقدماً. كان معظمها أكثر تعقيداً وأثبت أنها أعطت أداء على نحو غير مُرضٍ تماما، المعادلة

$$Y = A\ (\ 1 - b_0\ e^{-b_1 t})\ (\ e^{-ct}\ )$$

يدعى بأنها كانت أفضل من معادلة Wood. في التطبيق العملي تم تعديل تلك المنحنيات التي تتنبأ بالإنتاج وذلك للأخذ في الاعتبار شهر الولادة وتأثير الموسم من السنة.



شكل 2.16 منحني الإنتاج المتوقع لبقرة ذات فترة إدرار تنتج 7000 كج لبن

مكونات اللبن Milk Composition

تختلف مكونات اللبن بسبب عدد من العوامل غير الغذائية. وربما يكون لتقنية الحلب تأثير كبير على محتوى الدهن، وبالتالي على محتوى الجوامد الكلية نظراً لأن عدم إتمام الحلب ربما يترك مقداراً كبيراً من اللبن الغني بالدهن في الضرع. وقد تؤدي الفترات غير المتساوية بين الحلبات كذلك إلى انخفاض الإنتاج ومحتوى الدهن عندما تتعدى الفترة الزمنية الفاصلة بينهما 16 ساعة وخاصة مع أبقار عالية الإنتاج. ومن ناحية ثانية، فإن الأمراض وخاصة التهاب الضرع"mastitis"، ربما يخفّض الإنتاج وجودة مكونات اللبن. حيث تنخفض محتويات اللاكتوز والبوتاسيوم وترتفع محتويات الصوديوم والكلور. وتكون التغيرات في محتوى الدهن شاذة ولكن البروتين الخام يبين تغيراً بسيطاً. وتكون النتيجة النهائية انخفاضاً في محتوى الجوامد الكلية والجوامد غير الدهنية ويعتمد ذلك على شدة العدوى ولم يكن لهذه العوامل أية أهمية في حالة الإدارة الجيدة للقطيع. ويتم قبول الاختلافات المعينة في المكونات، وذلك نظراً لتعذر تجنبها في أي قطيع. ولعل العوامل المسئولة على هذه الاختلافات هي النوع والسلالة والفروق الفردية، عمر البقرة ومرحلة الإدرار.

تأثير النوع، والسلالة داخل النوع والأفراد في مكونات اللبن

Effect of breed , strain within the breed and individuality on milk composition

يوجد ترتيب محدود للسلالة فيما يتعلق بجودة اللبن وهي نقيض إنتاج اللبن، ويمكن من جدول 5.16 ملاحظة أن الجيرسي تنتج لبناً عالي الجودة وأن الهولشتين عالية الإنتاج تعطى ناتج ذو جودة أقل. ويعطي الجدول 6.16 تقريراً مفصلاً أكثر عن لبن السلالات المختلفة على الرغم من انه ليس حديثاً.

جدول 5.16 قيم متوسطة لمحتويات الدهن والبروتين في اللبن لسلالات أبقار اللبن الانجليزية الرئيسية

(From *Dairy Facts & Figures* 1992)

السلالة	الدهن (جم/كجم)	البروتين (جم/كجم)
الهولشتين الانجليزي	39.4	31.8
الفريزيان الانجليزي	39.7	32.6
الايرشاير	40.0	33.3
الجيرنسي	47.9	35.9
الجيرسي	54.5	38.5

جدول 6.16 قيم متوسطة لمكونات اللبن التفصيلية لأربع من سلالات اللبن الانجليزية

From Rook JAF 1961 *Dairy Sci. Abstr.*, 23,251

المكونات (جم/كجم)	آيرشاير	فريزيان	جيرنسي	شورت هورن
دهن	36.9	34.6	44.9	35.3
جوامد غير دهنية	88.2	86.1	90.8	87.4
بروتين	33.8	32.8	35.7	33.2
لاكتوز	45.7	44.6	46.2	45.1
رماد	7.0	7.5	7.7	7.6
كالسيوم	1.16	1.13	1.30	1.21
فوسفور	0.93	0.90	1.02	0.96

إن ما يثير الانتباه هو ملاحظة الفرق في مكونات الجوامد غير الدهنية للسلالات المختلفة؛ فمثلاً يمتلك لبن نوع الفريزيان عالية الإنتاج، نسبة عالية من اللاكتوز وقليلة من البروتين مقارنة بسلالة الجيرنسي منخفضة الإنتاج. النوع والأفراد لها تأثير مهم على مكونات لبن الأبقار والعديد من أبقار الفريزيان ربما تعطي معدلاً أكثر من 40 جم دهن/كجم و 89 جم جوامد غير دهنية/كجم طوال موسم الإدرار، بينما قد لا تجاري بعض من أبقار جزيرة القنال Channel Island هذه القيم، لذلك فإن المدى داخل السلالات الأربع والمقتبس من جدول 6.16 تم عرضه في جدول 7.16.

جدول 7.16 اختلافات داخل السلالة في مكونات لبن الأبقار (جم/كجم)

From Rook JAF 1961 *Dairy Sci. Abstr.*, 23,251

المكونات (جم/كجم)	الآيرشاير	الفريزيان	الجيرنسي	شورت هورن
دهن	**38.7 – 35.7**	**37.2 – 33.2**	**49.0 – 43.1**	**38.1 – 33.7**
جوامد غير دهنية	**89.4–86.5**	**87.5 – 84.0**	**93.0 – 88.2**	**89.0 – 85.7**
بروتين	**34.7 – 33.0**	**34.4 – 32.0**	**37.3 – 33.9**	**34.2 – 31.6**
لاكتوز	**46.8 – 43.7**	**46.0 – 43.0**	**47.3 – 45.7**	**45.9 – 43.8**

a: متوسطات سنوية لقطعان فردية.

تأثير العمر في مكونات اللبن Effect of age on Milk Composition

بزيادة عمر البقرة فإن جودة اللبن المنتج تصبح منخفضة وقد لوحظ هذا في أبقار الايرشاير في جدول 8.16.

يكون انحدار محتوى الجوامد غير الدهنية على العمر خطياً ويحدث النقص في اللاكتوز والبروتين بدرجة متساوية تقريبا. ومن ناحية أخرى، يكون محتوى الدهن ثابتاً نسبياً خلال مواسم الإدرار الأربعة الأولى ثم يتناقص تدريجياً مع العمر. وقد أشارت الدراسات على القطعان التجارية بأنه على مدى مواسم الإدرار الخمسة الأولى يوجد هناك تناقص خطي في محتوى الدهن ومحتوى الجوامد غير الدهنية بحوالي 2 و 4 جم/كجم على التوالي. إن توزيع تكرار العمر في القطيع ربما يؤثر بشكل كبير على مكونات لبن القطيع المخلوط.

جدول 8.16 تأثير عمر البقرة في مكونات اللبن (جم/كجم)

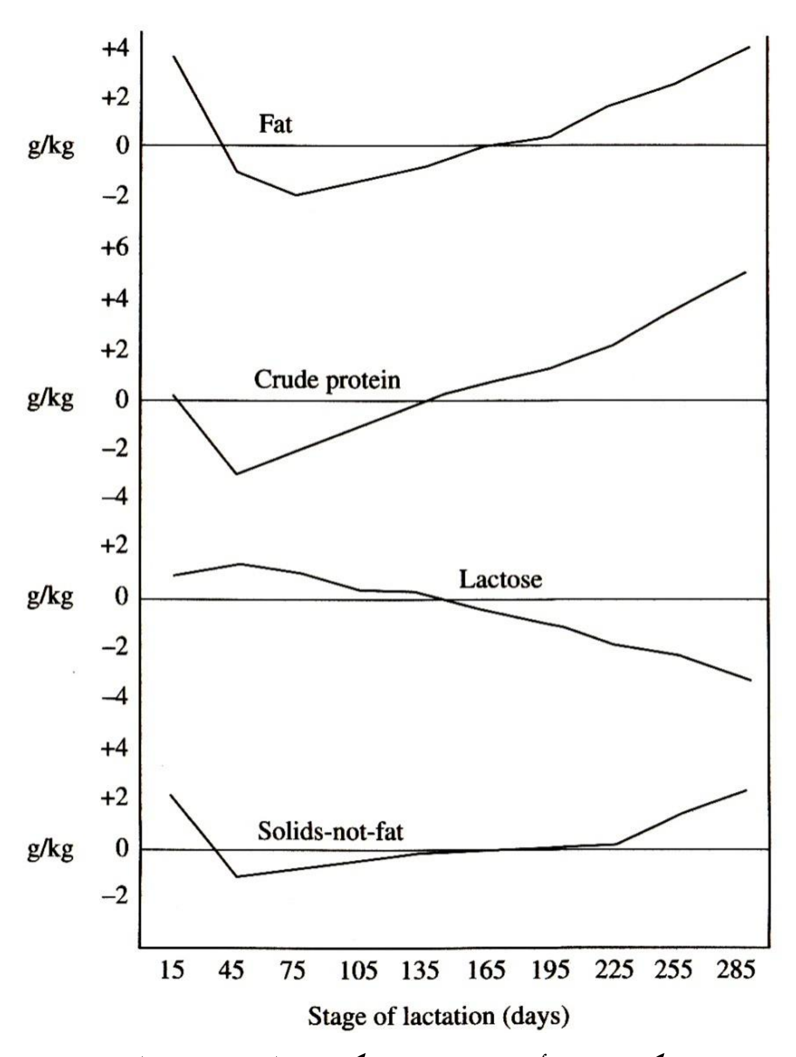
(After Waite R *et al. 1956 J. Dairy Res*., 23,65)

موسم الإدرار	الدهن	جوامد غير دهنية	بروتين خام	لاكتوز
1	41.1	90.1	33.6	47.2
2	40. 6	89.2	33.5	46.2
3	40.3	88.2	32.8	45.9
4	40.2	88.4	33.0	45.7
5	39.0	87.2	32.6	45.3
6	39.1	87..4	33.0	44.8
7	39.4	86.7	32.5	44.8
8	38.2	86.5	32.3	44.4
9	40.3	87.0	32.7	44.8
10	38.3	86.6	32.5	44.6
11	37.7	86.1	31.6	44.6

تأثير مرحلة الإدرار علي مكونات اللبن

Effect of Stage of Lactation on Milk Composition

إن لتقدم الإدرار تأثيراً واضحاً على مكونات اللبن ذوات الجودة المنخفضة خلال الفترة التي يكون فيها الإنتاج في أعلى مستوى. يكون محتوى كل من الدهن والجوامد غير الدهنية منخفضاً في هذه الأثناء ثم يتحسن تدريجياً حتى الأشهر الثلاثة الأخيرة من الإدرار حيث يكون التحسن أكثر سرعة. ويمكن توضيح هذه التغيرات في حالة أبقار الايرشاير في شكل 3.16.



شكل 3.16 تأثير الإدرار على مكونات اللبن في بقرة لبن

انخفاض محتوى الجوامد غير الدهنية خلال الأسابيع السبعة الأولى من الإدرار وهذا ناتج من انخفاض في محتوى البروتين الخام من يوم 15 إلى يوم 42 (2.8 جم/كجم) وارتفاع محتوي

اللاكتوز (0.4 جم/كجم) والذي حدث خلال هذه الفترة، وبالتالي فإن ارتفاع محتوى البروتين يفوق الانخفاض في محتوى اللاكتوز وكذلك ارتفاع محتوى الجوامد غير الدهنية عند نهاية الإدرار. انخفض محتوى الدهن بشدة في بداية الإدرار عندما كان الإنتاج مرتفعاً بسرعة ومن ثم يستمر في الانخفاض ببطء حتى اليوم 75 من الإدرار. يرتفع محتوى الدهن من ذلك الحين فصاعداً ببطء حتى اليوم 195، والذي يصبح بعده الارتفاع بسرعة أكثر.

يتضح بجلاء أن تقييم مكونات اللبن تعتبر مهمة أكثر صعوبة من تقييم إنتاج اللبن نظراً لوجود خمسة متغيرات رئيسية يجب اعتبارها. تسمح الطرق التحليلية الحديثة بالتحليل الروتيني للّبن على نطاق واسع وهناك قيم متاحة حالياً لمحتويات الدهن، اللاكتوز والبروتين وذلك من لبن عدد ضخم من القطعان. في حالة عدم توفر نتائج تحليلية، يتم عمل افتراضات تهتم بالعلاقات الكمية بين مكونات تتيح التنبؤ بالمكونات وذلك من مكون وحيد يسهل تحديده، وعادة يكون الدهن.

الاحتياجات إلى الطاقة Energy Requirements

يمكن أن تشتق مقاييس الطاقة عاملياً، ويتضمن هذا تقدير قيمة الطاقة الكلية (EV_1) للّبن والتي يمكن أن تستخدم عبر الإنتاج لتقدير احتياج الطاقة الصافية لإنتاج اللبن.

The Energy Value of Milk قيمة الطاقة في اللبن

يتم تحديد الطاقة الكلية في اللبن إما بكبسولة الطاقة Bomb Calorimetry أو بالتحليل الكيميائي المفصل؛ كميات الدهن، اللاكتوز والبروتين ومن ثم يتم ضربها في قيمتها السعرية وتجمع النواتج كما هو مبين في الجدول **9.16** .

جدول 9.16 حساب قيمة الطاقة الكلية في اللبن

المكون	المحتوى (جم/كجم)	طاقة كلية (ميجا جول/كجم)	طاقة كلية ميجا جول/كجم لبن
دهن	**40**	**38.12**	**1.52**
بروتين	**34**	**24.52**	**0.83**
كربوهيدرات	**47**	**16.54**	**0.78**
اللبن			**3.13**

في نشرتها حول احتياجات المواشي المجترة (1980) اقترحت هيئة البحوث الزراعية (البريطانية) المعادلات التالية لحساب قيمة الطاقة في اللبن:

$$\mathbf{EV_1(MJ / Kg) = 1.509 + 0.0406}\ \boldsymbol{F}$$

حيث F هي محتوى الدهن (جم/كجم). المعادلة لها خطأ قياسي مقدر بحوالي 0.089 ميجا جول/كجم. ويمكن الحصول على تقديرات أكثر دقة بإدخال محتوى الجوامد غير الدهنية في معادلة التنبؤ.

$$\mathbf{EV_1 = (MJ / Kg) = 0.0386}\ \boldsymbol{F}\ \mathbf{+ 0.0206\ SNF - 0.2353}$$

وقد خفضت هذه المعادلة الخطأ القياسي إلى 0.035. عندما تكون بيانات المكونات غير متوفرة، فإن قيم الطاقة الموضحة في الجدول 10.16، وهي مبنية على قيم الدهن والجوامد غير الدهنية لمتوسط السلالة ويمكن استخدامها ولكن بتحفظ كبير.

جدول 10.16 قيم الطاقة في لبن سلالات أبقار اللبن الانجليزية الرئيسية

السلالة	قيمة الطاقة (ميجا جول/كجم)
الهولشتين انجليزي	3.11
الفريزيان انجليزي	3.12
الآيرشاير	3.13
الجيرنسي	3.45
الجيريسي	3.72
لبن معدّل الجوامد	3.14[a]

a: لبن معدّل الجوامد به حوالي 40 جم دهن / كجم و 89 جوامد غير دهنية/كجم.

إن صافي احتياج الطاقة لإنتاج اللبن هي ناتج قيمة الطاقة والإنتاج. الخطوة التالية في التقدير العاملي هو حساب كمية طاقة الغذاء المطلوبة لتوفير صافي الاحتياج المقدر، ولهذا يجب معرفة كفاءة الاستفادة من طاقة الغذاء لغرض إنتاج اللبن.

كفاءة الاستفادة من طاقة الغذاء (طاقة أيضية) لإنتاج اللبن

Efficiency of utilization of food energy (ME) for milk production

من خلال قياس القيمة السعرية والذي قام به Forbes، Fries و Kellner تم التعبير عن كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية لغرض إنتاج اللبن (K_l) بحوالي 0.70. وقد

تباينت التقديرات الأكثر حداثة بشكل واسع من 0.50 إلى 0.81 ولكن الأغلبية تجمعت إلى حوالي 0.60 إلى 0.65. وهناك دليل هام بأن معظم الاختلافات كان في نتيجة فروق في تركيز الطاقة في الغذاء. اقترح Van Es بأن كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية في إنتاج اللبن مرتبطة بالقيمة الأيضية (Metabolizability , q_m) للغذاء، وتعرف كطاقة أيضية (ميجا جول/كجم مادة جافة) عند مستوى الحفظ كنسبة من الطاقة الكلية (ميجا جول/كجم مادة جافة). علاقات (Van Es) تضمنت بيانات (a) ألمانية، (b) أمريكية وهي:

(a) $k_1 = 0.385 + 0.38\, q_m$

(b) $k_1 = 0.466 + 0.28\, q_m$

حيث : k_1 هي كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية لإنتاج البن عندما يكون تغير الوزن = 0. حديثا (ARC Tech Rev. No. 2 , 1980) اقترحت وفيما بعد قبلت استخدام k_1 في المملكة المتحدة وتحسب على أحسن وجه كما يلي:

$$\mathbf{k_1 = 0.35\, q_m + 0.42}$$

لقد أصبح من الشائع في استنباط مخصّصات الطاقة افتراض أن الطاقة الكلية للمادة الجافة في كل الأغذية تكون ثابتة وهي نحو 18.4 ميجا جول/كجم ولتحويل هذه العلاقة لتعطي

$$\mathbf{k_1 = 0.019\, M / D + 0.42}$$

ويتيح هذا حساب k_1 من تركيز الطاقة في الغذاء، وفيما يتعلق بأغذية معينة كالسيلاج ومركبات الألبان عالية الطاقة وهي كثيراً ما تمثل جزءاً رئيسياً في أغذية الأبقار الحلابة، فإن الافتراض يكون غير صحيح وغالباً يجب أن تستخدم المعادلة المبنية على القيمة الأيضية (Metabolizability). ويتطلب في مثل تلك الحالات تقدير الطاقة الكلية في الأغذية نظراً لأن الاستخدام الروتيني للمسعرية الحرارية غير ملائم. وتكون القيم المحسوبة من المكون التقريبي هي البديل المقبول:

GE (MJ/Kg) = 0.0226 CP + 0.0407 EE + 0.0192 CF + 0.0177 NFE

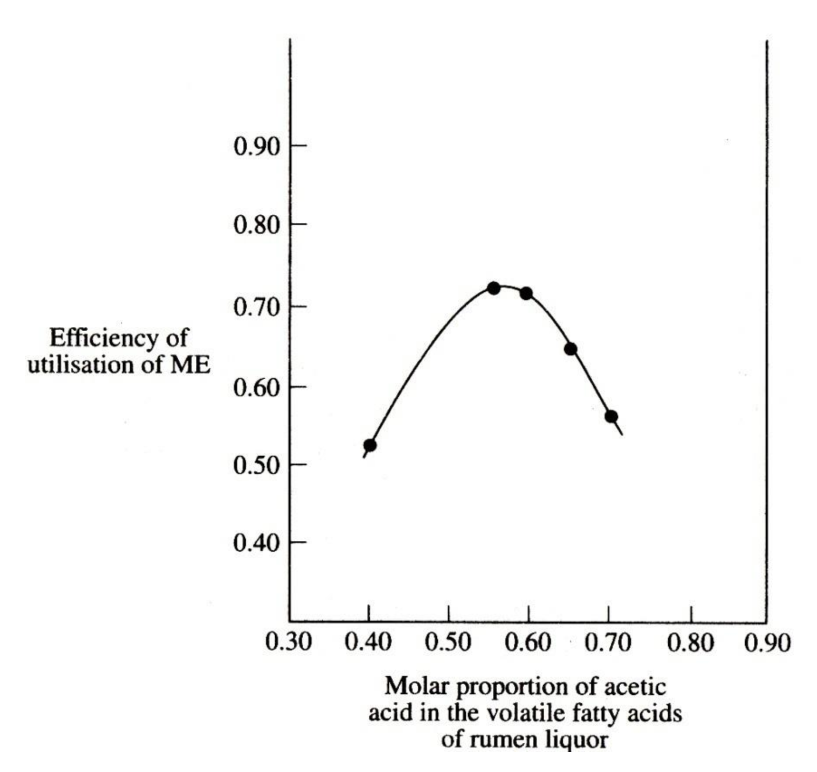
حيث CP، EE، CF و NFE تكون مصاغة في شكل جم/كجم. في حالة عدم توفر أي من البيانات الكالوريمترية أو ما يتعلق بمكونات العينة يحدد للسيلاج طاقة كلية نحو 19.2 ميجا جول/كجم مادة جافة وللأغذية المركبة ذات المحتوي العالي من الدهن نحو 19.4ميجا جول/كجم مادة جافة وقيمة 18.4 ميجا جول/كجم لجميع الأغذية الأخرى. وسوف تختلف كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية لإنتاج اللبن من 0.61 إلى 0.67 لأغذية ذات q_m 0.55 إلى 0.70. وتكون نطاق تركيزات الطاقة التي تقابل بالأغذية لإنتاج اللبن ضيقة وبالإمكان تبني عامل وحيد واستخدامه بتوسع بدون التسبب في خطأ جوهري؛ ويستخدم العامل 0.62 على نطاق واسع. وتتأثر كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية بمستوى البروتين في الغذاء، وعندما يكون محتوى البروتين غير كافٍ فإن أنسجة الجسم يتم هدمها لتصحيح النقص، وهي عملية غير نافعة للطاقة. عندما يكون البروتين مرتفعاً جداً

فإن الأحماض الأمينية الزائدة تستخدم كمصدر طاقة وحيث إن البروتين يستخدم لهذا الغرض بشكل غير كافٍ نسبياً فإن الكفاءة العامة للاستفادة من الطاقة الأيضية تكون منخفضة.

وهناك دليل (شكل 4.16) بأن كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية لإنتاج اللبن تتأثر بنسبة الخلات "acetate" في الأحماض الدهنية الناتجة أثناء تخمرات الكرش. وقد يبدو أنه عندما تكون نسبة حمض الخليك أقل من 0.5، تكون البقرة غير قادرة على تخليق كمية كافية من الأحماض الدهنية ذوات السلاسل القصيرة والمتوسطة والتي تمثل جزءاً كبيراً من دهن اللبن؛ وعندما تكون نسبة الخلات "acetate" في الناتج الكلي للأحماض الدهنية أكثر من 0.65 تنخفض الكفاءة كما هو الحال في صور الإنتاج الأُخرى. ويوجد دليل أخر وهو انخفاض ناتج الطاقة في اللبن عندما تكون الخلات ممثلة بأقل من 0.5 إلى 0.55 وتمثل البروبيونات "propionate" أكثر من 0.35 إلى 0.45 من الأحماض الطيارة في الكرش وهذا بسبب زيادة مخزون الطاقة بزيادة في وزن الجسم. إن تضمين عوامل تصحيح تسمح بتأثيرات كل من مستوى البروتين ونمط الأحماض الدهنية الطيارة في (k_1) لا يمكن تبريره نظراً لأن هذه التأثيرات ليست محددة بشكل كافٍ. في ذات الوقت يوفر البروتين نسبة بسيطة من الطلب على الطاقة مما يعني أن أي تصحيح سيكون مهملاً تماماً. إن تأثير التغيرات في نسب الأحماض الدهنية الطيارة داخل المدى الطبيعي سيكون صغيراً وعلى أية حال سيؤخذ جزئياً بعين الاعتبار وذلك لارتباطه بتركيز الطاقة. ويمكن حساب الاحتياج إلى الطاقة الأيضية لإنتاج اللبن (M_l) كما يلي:

$$M_1 \text{ (MJ/Kg)} = EV_1 / (0.35\, q_m + 0.42)$$

ففي حالة بقرة منتجة لبن به 40 جم دهن وبه 90 جم جوامد غير دهنية / كجم تتحصل على غذاء به $q_m = 0.60$ سيكون احتياجها هو 5.02 ميجا جول/كجم.



شكل 4.16 كفاءة الطاقة لغرض الإدرار

(After Blaxter K L 1967 *The Energy Metabolism of Ruminants*, p.259,London,Hutchinson.)

تغير الوزن الحي أثناء الإدرار Liveweight Change in lactation

عادة ما تكون الأبقار المدرة للبن في حالة من فقد أو زيادة في وزن الجسم. ولعل البقرة التي تفقد وزنا يمكنها عمل مخزونات طاقة متاحة للمحافظة على مستواها في إنتاج اللبن، غير أنه من ناحية أُخرى عندما يزيد وزنها، فإن بعضاً من عليقة الإنتاج يتم تحويله من إنتاج اللبن لهذا الغرض (زيادة الوزن). وهناك قيم مقتبسة في بحوث سابقة تخص قيمة الطاقة لغرض زيادة وزن الجسم في أبقار اللبن و تختلف هذه من 20 إلى 30 ميجا جول/كجم، ويبدو أنها مرتبطة بحالة الجسم. وقد لا يبدو أن هناك سبباً لتغير القيمة السابقة (26) والتي استخدمت في الطبعة السابقة (الرابعة) من هذا الكتاب وهذه تم الإبقاء عليها.

ويوجد إجماع عام على أن الكفاءة التي تستعمل بها الطاقة الأيضية لترسيب النسيج (k_g) في بقرة مدرة للبن تكون أعلى مما في الحيوان غير المدر للبن. لقد تم تقدير قيم kg تصل إلى 0.84 ولكن أغلبية البحوث المنشورة تقترح بأن (k_g) متشابه جداً ولكنها أقل قليلاً من K_l. ولهذا السبب فإن اقتراح $k_g = 0.95\ K_l$ يبدو انه ملائم، ولذلك ففي حالة بقرة تزيد في الوزن، فإن كل كيلوجرام زيادة يعني 26 \ ($0.95 \times K_l$) ميجا جول طاقة أيضية غذائية تكون غير متاحة لإنتاج اللبن، أو أن هذه الكمية من الطاقة الأيضية الغذائية يجب توفيرها إضافة إلى ما هو مطلوب لغرض الحفظ ولإنتاج اللبن. وفي مصطلحات الطاقة الصافية، فإن كل كيلوجرام من الزيادة في الوزن قد يعتبر كزياد مقدارها 26 \0.95 = 27.4 ميجا جول مضافة إلى طلب الإدرار. إن التقديرات المنشورة حول كفاءة الاستفادة من طاقة

الأنسجة المتحررة وذلك لإنتاج اللبن تعتبر عالية لا تختلف كثيراً. على ضوء هذه المشاهدات يبدو أنه ليس ثمة سبب يدعو لتغيير القيمة (0.84) المستعملة في الطبعة السابقة وقد تم الاحتفاظ بهذه، و يعني هذا أن مقابل كل كيلوجرام يتم تحرره من نسيج الجسم، فإن 26× 0.84 = 21.8 ميجا جول من الطاقة يتم إفرازه كلبن.

الاحتياج إلى الطاقة لغرض الحفظ

Energy Requirements For Maintenance

كما هو الحال في إنتاج اللبن، يجب أن يوفر غذاء البقرة المدرة للّبن الطاقة لغرض الحفظ و ربما يتم حساب هذا في (الفصل 15) كما يلي:

$$E_m \text{ (MJ / d)} = 0.53 \text{ (} W / 1.08 \text{)}^{0.67} + 0.0043\, W$$

المعامل (0.0034) يطبّق في حالة أبقار تعيش داخل حظائر وتحت ظروف المباني العادية غير المحكمة. لقد أسس هذا علي افتراضات معينة للوقت المبذول في حالة الوقوف، عدد تغيرات الوضع والمسافة المقطوعة في المشي ويعتبر هذا فعالاً فقط في الحالات التي تكون فيها هذه الافتراضات دقيقة (الفصل 14). ويشير الدليل المتوفر إلى أنه في تلك الحالات تقضي البقرة حوالي 14 ساعة في الوقوف، تقف وترقد تسع مرات وتمشي حوالي 500 م، خلال النشاط الطبيعي اليومي ومن ذلك يمكن حساب المعامل ليصبح:

النشاط	تكلفة الطاقة	طاقة منفقة (ميجا جول/كجم/ يوم)
وقوف (14 ساعة)	**10 كيلو جول / يوم**	**0.0058**

تغيرات الوضع (9)	0.26 كيلو جول / كجم	0.0023
المشي (0.5 كم)	2.0 جول / كجم / متر	0.0010
المجموع		0.0091

إن موضوع الزيادات في مقدار النشاط تمت مناقشته بتوسع في الباب 14، ويمكن حساب كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية الغذائية (k_m) كالآتي:

$$\mathbf{k_m = 0.35}\ \boldsymbol{q_m} \mathbf{+ 0.503}$$

والاحتياج إلى الطاقة الأيضية لغرض الحفظ كالآتي:

$$M_m\ (\mathrm{MJ / d}) = \frac{0.53\ (W / 1.08)^{0.67} + 0.0091\ W}{0.35\ q_m + 0.503}$$

ويجب – عند حساب احتياجات أبقار اللبن من الطاقة– اخذ العلم بالتناقص في كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية عند زيادة المأكول من الطاقة. ويتم للقيام بهذا زيادة الاحتياج المحسوب وفقاً لتك. الطريقة، وهي تتضمن استخدام عامل تصحيح، موضحة بشكل أفضل كمثال مبين في جدول 11.16.

إنه من الشائع استخدام حد أمان في حساب المخصصات وذلك في محاولة لخفض مخاطر التغذية المنخفضة إلى الحد الأدنى. وكثيراً ما تستخدم قيمة 5 في المائة، والتي يمكنها إعطاء قيمة منقّحة وهي 212 ميجا جول/يوم لاحتياج البقرة في هذا الحساب. وهناك دليل بأن قيمة 5 % غير مناسبة وان حد أمان على مقربة من 15 % يكون مطلوباً لضمان أن

10 % تكون فقط لأبقار من الممكن أن تغذيتها تكون تحت المستوي الطبيعي. إن درجة الاختلاف العالية الكامنة في حدود الأمان الكبيرة هي وبشكل جزئي بسبب معلومات غير تامة لمعايير نموذج التنبؤ وكذلك نتيجة عدم تجانس العشيرة الخاضعة للدراسة. إن هامش الأمان لم يتم استخدامه في الجدول 11.16 أو في حساب المخصصات المدرجة في الجداول الملحقة.

الاستجابات إلى الزيادات في مقدار الطاقة الغذائية

Responses to increments of dietary energy

وقد وجد في التجارب التي يتم فيها قياس الاستجابات إلى إضافات الطاقة إلى الغذاء في صورة إنتاج لبن، أن جزءاً فقط من الزيادة المتوقعة نظرياً تم الحصول عليه وأن التناقص هو نتيجة عاملين:

1. إضافات الأغذية المركزة إلى العليقة يسبب انخفاضات مصاحبة في الجزء الخشن وبذلك تكون الزيادة في المأكول من الطاقة أقل مما أضيف في المكملاّت. إن معدل الإحلال، المعرّف بالتغير في المأكول من العلف لكل وحدة من المأكول من المكمل، يكون أكبر للأعلاف ذوات الجودة العالية وعندما يكون المأكول من المكمل مرتفعا. وربما يدنو في حالات معينة من الاتفاق وربما يصبح زيادة المأكول من الطاقة الغذائية الناتجة من الإضافة التكميلية صغيراً جداً.

2. تتجزأ الطاقة المستهلكة من قبل الحيوان المدر للّبن علاوة على الكمية المطلوبة للحفظ بين إنتاج اللبن وزيادة وزن الجسم. إن الاستجابة إلى مكملات الطاقة المضافة إلى الغذاء

تكون في شكل خط منحنياً سلبياً في حالة إنتاج اللبن وخط منحنياً ايجابياً في حالة الزيادة في وزن الجسم.

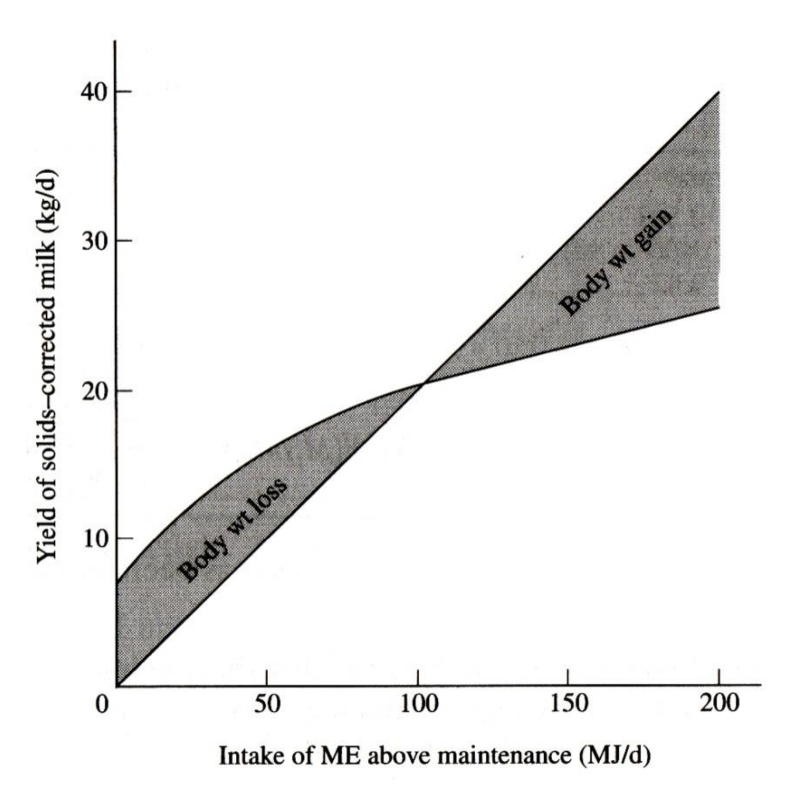
جدول 11.16 حساب مخصص الطاقة الأيضية لبقرة وزنها 600 كجم تنتج 30 كجم لبن يومياً به 40 جم دهن/كجم، تفقد 0.4 كجم وزن حي/يوم وغذائها به $q_m = 0.6$.

$E_m = 0.53\ (600 / 1.08)^{0.67} + 0.0091 \times 600$	= 42.04 MJ / d
$K_m = 0.35 \times 0.6 + 0.503$	= 0.713
$E_1 = 30\ (1.509 + 0.0406 \times 40)$	= 93.99 MJ / d
$K_1 = 0.35 \times 0.6 + 0.42$	= 0.630
$E_g = - 0.4 \times 26$	= - 10.40 MJ d
الطاقة الصافية المضافة من فقد الوزن (10.4 × 0.84)	= 8.74 MJ / d
$M_m = 42.04 / 0.713$	= 58.96 MJ / d
$M_1 = (93.99 - 8.74) / 0.630$	= 135.32 MJ/ d
معامل تصحيح لمستوى التغذية $(1 + 0.018\ (M_p / Mm)$	= 1.041 MJ /d
$M_{mp} = (135.32 + 58.96) \times 1.041$	= 202.25 MJ /d

لذلك فإن زيادة المأكول من الطاقة سينتج عنه زيادة في إنتاج اللبن بالإضافة إلى خفض الفقد في وزن الجسم أو زيادة في كسب الوزن الحي. وعندما تؤخذ هذه التغيرات في الاعتبار مع مقادير الزيادة الحقيقية في الطاقة الغذائية، تقترب الاستجابات من النظري. إن قدرة الأبقار على تحويل جزء من عليقتها الإنتاجية لنمو أنسجتها الخاصة أو اختيارياً لدعم الطاقة المتاحة لإنتاج اللبن عن طريق هدم هذه الأنسجة، يختلف بشكل كبير من فرد إلى أخر؛ فالأبقار ذوات القدرة الإنتاجية العالية تستخدم نسبة أعلى من العليقة الإنتاجية لغرض اللبن مقارنة بأخرى ذوات فعالية أقل. يكون الاتجاه في داخل الأفراد هو خفض حصة

مقدار الزيادة في الطاقة المستخدمة لإنتاج اللبن كلما زادت العليقة الإنتاجية؛ وبمعنى آخر يزداد مقدار الطاقة المطلوبة لكل كيلوجرام كلما زاد إنتاج البقرة من اللبن. وسوف تتأثر هذه التجزئة تبعاً لطبيعة نواتج تخمر الكرش وخاصة العلاقات النسبية بين الأحماض الدهنية الطيارة كما نوقش سابقاً.

إن الاستجابة فيما يتعلق بإنتاج اللين والناتجة من إضافة أغذية مركزة إلى عليقة ثابتة تتناسب مباشرة مع إنتاج اللبن الحالي أو الممكن. إن هذا موَّضح جيداً بواسطة بحث " Blaxter " الذي وزع الزيادة في الطاقة عن المعدل المبين في المقاييس القديمة لأبقار من مجموعات إنتاج مختلفة. ولقد وضح بأن الاستجابة تتراوح من 0.016 كجم لبن / ميجا جول طاقة أيضية عند إنتاج 10 كجم / يوم، إلى 0.172 كجم عند 25 كجم. إن الاستجابة النموذجية لزيادة مقدار الطاقة تحت تلك الظروف سيكون 0.14 كجم لبن/ميجا جول تغيير في المأكول من الطاقة الأيضية (MEI)، باستجابات 0.003 و 0.01 كجم/ ميجا جول MEI لإنتاج الدهن والجوامد غير الدهنية على التوالي.



شكل 5.16 تأثير المأكول من الطاقة الأيضية (ME) على ناتج اللبن وتغير وزن الجسم الحي.

(From Broster W and Thomas C 1981 *Recent Advances in Animal Nutrition*, Haresign W (ed.), pp. 49-69, London, Butterworth.

تحت ظروف التغذية لحد الشبع *ad libitum*، ولا تعتمد الاستجابة على إنتاج اللبن الحالي أو الممكن وسوف تكون القيمة النموذجية هي 0.7 كجم لبن/ كجم من المادة الجافة في المركزات.

وعندما تقاس الزيادة الحقيقية في الطاقة الأيضية الغذائية فإن هناك اتجاه بأن الأبقار ذوات الإنتاج العالي تبين استجابات أكبر. المحدد الرئيسي للإنتاج الكلي للإدرار هو قمة

الإنتاج، سواء تحقق هذا نتيجة إمكانية البقرة أو ممارسة التغذية. وعلاوة على هذا، فإن الاستجابات لمقادير الطاقة تتناقص بتقدم فترة الإدرار، وفي حالة مستويات التغذية المنخفضة أو المتوسطة فإن رفع المأكول من الطاقة في بداية الإدرار يؤدي إلى تأثير متبقٍ مقداره 55 % في نهاية الإدرار.

بناءاً على ذلك، ومن الناحية النظرية، فإن توزيع مستويات عالية من المكملات المركزة في بداية الإدرار لضمان أقصى قمة إنتاج يجب أن ينتج عنه إدرار بأعلى إنتاج. ولا يؤيد الدليل التجريبي هذا التوقع تماماً نظراً لأن تعزيز المثابرة يعمل على موازنة قمة الإنتاج المنخفض. قد يبدو أنه عندما يكون مستوى التغذية فيما يتعلق بإمكانية الإنتاج منخفضاً فإن تخصيص المركزات في بداية الإدرار يحسّن إنتاج الإدرار. وعندما يكون مستوى التغذية فيما يتعلق بالإمكانية بنسبة وافرة عليه فإن مجمل الأغذية المركزة المضافة خلال الإدرار تكون مهمة أكثر من أهمية نمط الإدرار.

يكون من الصعب جداً في الحيوانات ذوات الإمكانية العالية المحافظة على مستوى وافر من التغذية خلال بداية الإدرار عندما يكون المأكول من المادة الجافة قليلاً. ويجب أن تُزود مثل تلك الحيوانات بأغذية مركزة غنية بالطاقة وأعلاف مالئة جيدة وذلك لتحقيق مستوى تغذية وافر. ولعل المشكلة الرئيسية في هذا الوقت هي ضمان أن العليقة لا تسبب اضطرابات في الكرش وينتج عنها فقد الشهية وانخفاض إنتاج دهن اللبن. وبناء عليه فإن نسبة العلف المالئ يجب ألا تقل عن 35 % من الغذاء. إن الوزن المفقود في هذا الوقت يتطلب إحلاله قبل موسم الإدرار القادم وعادةً يتحقق هذا أثناء نهاية الإدرار وفترة الجفاف

على ضوء دليل ارتفاع كفاءة الاستفادة من الطاقة لزيادة وزن الجسم في البقرة المدرّة للبن فقد تكون الطريقة الفعالة أكثر لإحلال النسيج المفقود عن طريق زيادة التغذية عن الاحتياجات خلال نهاية الإدرار ولكن بشكل مدروس. إن تراكم المخزون يشجع ارتفاع كفاءة استخدام ذلك المخزون لإنتاج اللبن.

الاحتياجات من البروتين Protein requirements

لقد تم في الطبعة السابقة صياغة الاحتياجات من البروتين بمفهوم البروتين المتحلل في الكرش (RDP)، المطلوب لسد احتياجات الكائنات الحية الدقيقة في الكرش، وبروتين غذائي غير متحلل (UDP)، مطلوب لسد جزء من احتياجات النسيج الذي لم تساهم به الكائنات الحية الدقيقة عندما يتم هضمها وامتصاصها في الأمعاء الدقيقة. كما تم في النظام المقترح حديثاً في المملكة المتحدة صياغة مخصصات البروتين بمفهوم البروتين الأيضي. يكون هذا في موضع البروتين الفعال المتحلل في الكرش (ERDP) ولكن هذا لا يمكن تحديده ما لم تكن العليقة مكونة لتفي باحتياج الحيوان من الطاقة الأيضية.

الاحتياج من البروتين الأيضي Metabolizable protein requirement

قد يعرَّف الاحتياج من البروتين الأيضي بالكمية المطلوبة من البروتين الحقيقي والممتصة حقاً لتفي باحتياجات نيتروجين الحمض الأميني عند مستوى النسيج. يكون صافي احتياج البروتين عند مستوى النسيج متمثلاً فيما يلي:

أ. جزء الحفظ والذي يمكن حسابه ليساوي 2.19 جم/كجم وزن $^{0.75}$ /يوم.

ب. جزء جلدي ناتج من الفقد في الشعر والقشرة والتي يمكن حسابها لتساوي 0.1125 جم/كجم وزن $^{0.75}$ /يوم.

جـ. جزء اللبن ويُحسب كبروتين خام في اللبن (جم/كجم) × 0.95 /كجم لبن منتج. استُعمل العامل 0.95 لأن جزء النيتروجين غير البروتيني في اللبن، 5 % من النيتروجين الكلي، وهو يعتبر مواد مفرزة والتي تستغل حالاً عن طريق الجسم وبالتالي فهي تمثل جزءاً من الطلب المشبع سابقاً. إن المعلومات عن محتوى البروتين في اللبن متوفرة الآن لمعظم المنتجين في المملكة المتحدة كجزء من جداول الدفع للجودةThe quality payment schemes، التي تديرها هيئة تسويق اللبن. وعندما لم تتوفر تلك القيم يمكن حساب محتوى البروتين من محتوى الدهن (*F*) باستخدام معادلات انحدار

(regression equations) مثل معادلة Gaines and Overman:

بروتين (جم/كجم) = 21.7 + 0.31 *F* (جم/كجم)

البديل لذلك، هو إمكانية استخدام محتوى البروتين في اللبن في السلالات الانجليزية الرئيسية من أبقار اللبن وهذا موضح في جدول 5.16.

د. جزء يعكس التغير في الوزن الحي (ΔW). يفترض أن أنسجة الجسم تحتوي 150 جم بروتين/كجم من الوزن الفارغ للجسم، وباستخدام عامل تحويل 1.09 هذا يصبح

$\frac{150}{1.09}$ = 138 جم لكل كجم من الوزن الحي.

لكي تحسب الكميات المطلوبة من البروتين الأيضي والتي تفي بصافي هذه الاحتياجات، يلزم ذلك عوامل لكفاءة الاستفادة من البروتين الأيضي للحفظ، الفقد عن

طريق الجلد، الإدرار والنمو وتحويل بروتين الجسم المتحرك إلى بروتين لبن. ويوصي النظام المقترح بالآتي ؛

الحفظ = 1.0

الجلدي = 1.0

النمو = 0.59

الإدرار = 0.68

يفترض النظام بأن الأحماض الأمينية الناشئة من حركة بروتين الجسم يتم استغلالها بنفس كفاءة الأحماض الأمينية الممتصة وان فقد الوزن الحي له تأثير احتياطي على الاحتياج من البروتين الأيضي وهذا يساوي محتواه من البروتين، أي بمعنى 138 جم/كجم. مثال عن حساب الاحتياج من البروتين الأيضي لبقرة مدرة للّبن مبين في جدول 12.16.

الاحتياج من البروتين المتحلل فعليا في الكرش

Effective rumen degradable protein requirement

تُصاغ الاحتياجات من البروتين للكائنات الحية الدقيقة في الكرش بمفهوم البروتين المتحلل فعليا في الكرش (ERDP)، ويحسب الاحتياج من البروتين المتحلل في الكرش نسبة إلى المأكول غذائياً من الطاقة المتخمرة الأيضية (FME) ويعرّف بأنه:

البروتين المتحلل فعليا في الكرش (ERDP) (جم/ يوم) = الطاقة الأيضية المتخمرة (ميجا جول/ يوم) × y

$$\mathbf{ERDP(g/d) = FME(MJ/d) \times \mathit{y}}$$

حيث Y هي الاحتياج من ERDP (جم / ميجا جول من FME) وتختلف تبعاً لمستوى الإنتاج. قيم (Y) المقترحة لمستويات مختلفة من أداء الحيوان هي: حيوان عند

مستوى الحفظ (M) $Y = 9$.

نعاج في أواخر الحمل أو مدّرة وأبقار لبن $Y = 11$

البديل عن ذلك ربما يتم حساب Y باستخدام المعادلة التالية :

$$y = 7 + 6 (1 - e^{-0.35L})$$

حيث (L) هي مستوى التغذية بالنسبة إلى الحفظ.

تعتبر هذه المعادلة وسيلة رياضية تمهّد العلاقة بين (Y) و (L) وبالتالي تجنب المشاكل الحدية وهي غير مبنية على بيانات تجريبية. يساهم البروتين الميكروبي في سد الاحتياجات من البروتين الأيضي ولكن في الأغلبية من الحالات، وخاصة عند المستويات العليا من الإنتاج، لا يمكنه سد الاحتياجات تماماً. على أن يتم تعويض النقص عن طريق البروتين الحقيقي غير المتحلل والمهضوم تماماً " DUP " من الغذاء. يفترض أن يحتوي البروتين الميكروبي الخام (FME × 11) على 75 % بروتين حقيقي (أحماض أمينية) وأن يكون له معامل هضم حقيقي 0.85. إذن مساهمة البروتين الميكروبي (MCP) في البروتين الأيضي (MP) تكون:

MCP × 0.75 × 0.85 أو 0.6375 MCP.

جدول 12.16 حساب الاحتياج إلى البروتين الأيضي لبقرة وزنها 600 كجم تنتج 30 كجم لبن يحتوي 32 جم بروتين خام وتفقد 0.4 كجم من وزنها/يوم.

احتياج البروتين الصافي (جم/يوم)	عامل الكفاءة	الاحتياج من البروتين الأيضي (جم/يوم)
الحفظ: $2.19 \times 600^{0.75}$	**1.00**	**265.5**
فقد عن طريق الجلد: $0.1125 \times 600^{0.75}$	**1.00**	**13.6**
لبن: $32 \times 0.95 \times 30$	**0.68**	**1341.2**
فقد في الوزن: $- 0.4 \times 138$	**1.00**	**- 55.2**
البروتين الأيضي: 265.5+ 13.6 + 1341.2 + (- 55.2)		**1565.1**

سيكون الاحتياج من البروتين غير المتحلل والمهضوم تماماً MP — 0.6375 MCP.

مثال على حساب الاحتياجات من البروتين لبقرة لبن باستعمال القيمة المفترضة مبين في جدول 13.16.

عادة يستخدم 5 % كحد أمان من عند تحويل الاحتياجات من البروتين إلى مخصصات ولكن هذا لم يتم اقتراحه في النظام الجديد. ويجب عند الحاجة إلى استخدام حدود الأمان أن تُطبَّق على الاحتياج المطلوب من ERDP و MP . من ناحية أخرى،

يجب عند حساب مخصص DUP فإن ERDP غير المصحح استخدامه لحساب البروتين الميكروبي الحقيقي المهضوم تماماً.

إن تطبيق النظام لتقييم عليقة كمصدر بروتين تكون مباشرة. تحسب محتويات DUP، ERDP، MP و FME لعليقة ما بشكل سهل من تلك المكونات، و يتيح الأخير حساب الاحتياجات من ERDP و يمكن مقارنة هذه فيما بعد بما تم توفيره في العليقة. عندما تكون قيمة $\frac{ERDP}{FME}$ تساوي أو أكبر من 11 (يعني أن الطاقة محدودة) إذاً ربما يتم حساب الاحتياج من DUP كما وصف سابقاً.

جدول 13.16 حساب الاحتياجات من البروتين لبقرة وزنها 600 كجم تنتج كجم 30 لبن يحتوي 32 جم بروتين خام/كجم، تفقد 0.4 كجم وزن في اليوم.

الاحتياج من الطاقة الأيضية (ميجا جول/ يوم)	**202**
الطاقة الأيضية المتخمرة في العليقة (ميجا جول)	**175**
الاحتياج من ERDP [175× 11] (جم/يوم)	**1925**
الاحتياج من البروتين الأيضي (جم/يوم)a	**1565**
مساهمة البروتين الميكروبي[1925× 0.6375] (جم/يوم)	**1227**
الاحتياج من DUP [1565 – 1227] (جم/يوم)	**338**

[a] من جدول 12.16

و يمكن مقارنة هذا بالعرض (جدول 14.16).

جدول 14.16 تقييم عليقة ($q_m = 0.6$) لبقرة وزنها 600 كجم تنتج 30 كجم لبن به 40 جم دهن/كجم، 35 جم بروتين خام/كجم وتفقد 0.4 كجم وزن حي

الاحتياج من البروتين الأيضي (**MP**):

الحفـظ = $2.3 \times 600^{0.75} = 279$ جم

اللـبن= $35 \times 0.95 \times \frac{30}{0.68} = 1467$ جم

تغير الوزن = $- 0.4 \times 138 = - 55$ جم

المجموع = 1691 جم

العليقة:

الغذاء	كجم	DM (ميجا جول)	ME (ميجا جول)	FME (جم)	ERDP (جم)	DUP (جم)
سيلاج	35	8.05	84.5	62.8	886	185
غذاء جلوتين ذرة	2	1.80	22.9	20.7	234	74
عليقة مركبة	8.3	7.40	95.6	91.7	828	333
المجموع		17.25	203	175	1948	592

ERDP / FME = 1948/ 175 = 11.13 والطاقة محددة.

MCP = 175 × 11 = 1925 جم

مساهمة **MCP** في الطلب على البروتين الأيضي= **1925 × 0.6375 = 1227**جم

الاحتياج من **DUP = 1691 – 1227 = 464** جم وعليه:

	الاحتياج	المتوفر من العليقة
طاقة أيضية (ميجا جول / يوم)	203	203
ERDP (جم/يوم)	1925	1948
DUP (جم/يوم)	464	592
MP (جم/يوم)	1691	1834

إن تطبيق النظام لتكوين علائق يكون معقداً جداً، ويجب أن تصمّم العليقة لتغطي الاحتياج من الطاقة الأيضية أولا، و يتيح هذا حساب محتوى الطاقة الأيضية المتخمرة، وعندها فقط يمكن حساب الاحتياج من ERDP. من ثم يمكن أن يقيّم وضع ERDP و DUP في العليقة ويوضع في الموازنة. ويمكن عمل هذا بسهولة عن طريق تصميم مضاف له نفس تركيز FME كعليقة الأساس والتركيزات الضرورية من ERDP و DUP، و لا يخلو هذا الإجراء من التعقيد! إذا لم يتم تحقيق المزيج المثالي (التوليفة المثالية) من البروتين المتحلل وغير المتحلل فقد يزداد الاحتياج بشكل كبير. إن تحقيق تلك التركيبه قد يتيح استخدام مصادر بروتين رخيصة أو يبرر استخدام بروتين غالي الثمن أو لزوم عمليات صناعية لتحوير مدى تحلل البروتين الغذائي غير الملائم.

يمكن عمل تقديرات للاحتياج من البروتين من نتائج تجارب التغذية. وتستخدم في هذه الحالات، الأغذية التي تقبل على أنها مُرضية في كل النواحي الأخرى عدا البروتين، ويحدد أدنى بروتين مأكول يكفي لإنتاج الحد الأعلى. ويجب أن تكون مثل تلك التجارب ذات طبيعة طويلة الأجل نظراً لإمكانية المحافظة على الإنتاج حتى بالأغذية التي بها نقص بسبب قدرة البقرة على استغلال أنسجة جسمها. وسيؤدي هذا إلى ميزان سالب للنيتروجين وعادة تجري تجارب لتلك الموازنات لتكمل تجربة التغذية الرئيسية. ويتم عند معالجة النتائج في تجارب التغذية، عمل مخصص من البروتين المطلوب للحفظ والمتبقي يسوَّى لإنتاج اللبن. تقديرات الاحتياج من البروتين المهضوم المبنية على تلك التجارب و تختلف من 1.75 ضعف الموجودة في اللبن إلى 1.25 ضعف وذلك في بحوث حديثة جداً. وتطبق

هذه المستويات المنخفضة فقط حينما يكون محتوى البروتين الخام في الغذاء يقدر بحوالي 160 بروتين خام/كجم، وعندما ينخفض المحتوي إلى حوالي 120 جم بروتين خام/كجم فإن الاحتياج لغرض إنتاج اللبن يرتفع.

الاحتياجات إلى العناصر المعدنية Mineral Requirements

اقترحت هيئة البحوث الزراعية والغذائية (AFRC) بالمملكة المتحدة في تقرير اللجنة الفنية رقم 6 (TCORN 6) أن الاحتياج اليومي الصافي للكالسيوم لغرض الحفظ لبقرة لبن يمكن حسابه كالآتي:

الاحتياج اليومي = **0.74 – DMI 0.66 + *W* 0.0079**

حيث عُرفت DMI في شكل

$$\frac{\text{MEI طاقة أيضية متناوله}}{(q_m\ 18.4)}$$

ففي حالة بقرة وزنها 600 كجم تستهلك 170 ميجا جول طاقة أيضية على غذاء به q_m = 0.6، المأكول من المادة الجافة ستكون 15.4، و يعطي هذا الاحتياج الصافي 23.6 ملجم/كجم وزن/يوم مقارنة بالقيمة 16 ملجم/كجم وزن /يوم لأبقار اللبن والتي وردت في الطبعة السابقة*. بالنسبة للاحتياج الصافي من الفوسفور كانت حسابات TCORN هي:

الاحتياج الصافي = 1.6 (0.06 – DMI 0.693)

* من النسخة الأصلية (الانجليزية) – المترجم.

بقرة وزنها 600 كجم تستهلك 15.4 كجم مادة جافة، يوحي هذا بأن صافي الاحتياج مقداره 28.2 ملجم/كجم وزن/يوم مقارنة بالقيمة 20 ملجم في الطبعة السابقة. يجب توفير الكالسيوم والفوسفور لإنتاج اللبن بالإضافة إلى الاحتياجات الخاصة بالحفظ. اقترحت (TCORN 6) 1.2 و 0.9 جم/كجم لمحتويات الكالسيوم والفوسفور في اللبن، مقارنة بالقيم 1.13 و 0.9 المستخدمة سابقاً. مدى إتاحة الكالسيوم والفوسفور هي 0.68 و 0.58 مقارنة بالقيم الأولى 0.45 و 0.55 على التوالي. إن العلاقة المنطقية بين هذه الفروق في حالة بقرة وزنها 650 كجم تنتج 25 كجم لبن وتستهلك 17.5 كجم مادة جافة مبينة أسفل:

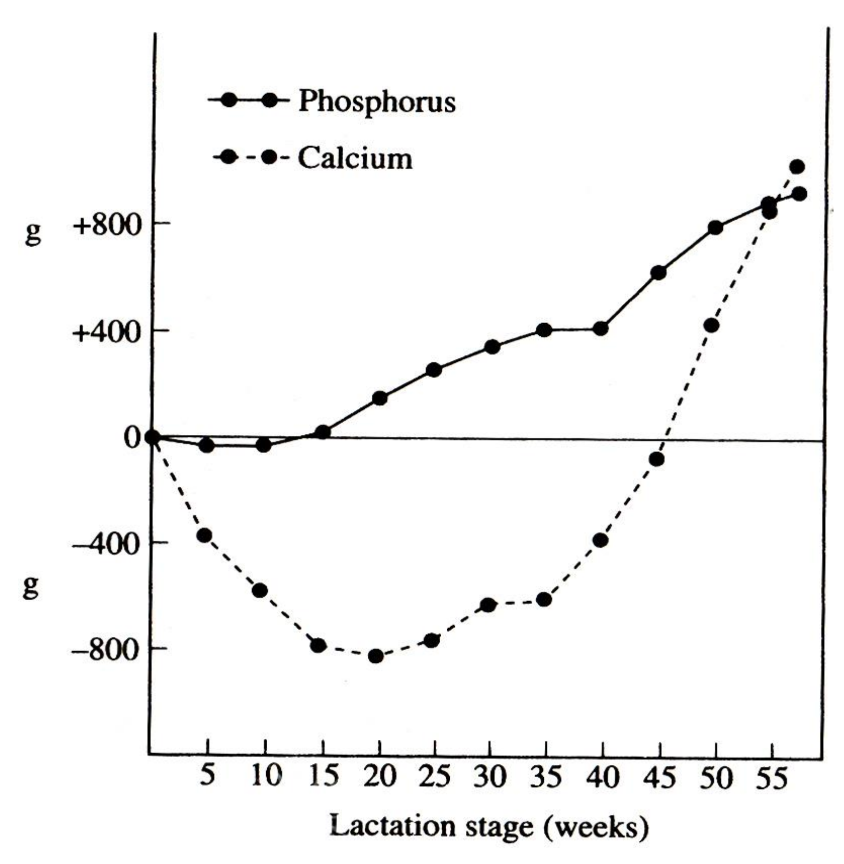
	الطبعة السابقة		TCORN 6	
	كالسيوم	فوسفور	كالسيوم	فوسفور
الحفظ	10.4	13.0	15.9	19.3
إنتاج اللبن	28.2	22.5	30.0	22.5
مجموع صافي الاحتياج	38.6	35.5	45.9	41.8
الاحتياج الغذائي	86.0	65.0	68.0	72.0

لقد زاد الاحتياج من الفوسفور إلى 7 جم/يوم (72 – 65 = 7) وتناقص الاحتياج من الكالسيوم إلى 18 جم/يوم (86 – 68 = 18)، وبذلك تغيرت نسبة الكالسيوم إلى الفوسفور من 1:1.32 إلى 0.94 :1. اقترحت (TCORN 6) للأغذية التي تكون فيها q_m أكبر من 0.7، يجب عندها حساب الاحتياجات من الكالسيوم والفوسفور باستخدام 1.0

بدلاً عن 1.6 في الصيغة السابقة، و يجب أن يتغير عامل الاتاحة إلى 0.7. ويمكن أن تنشأ عن مثل ذلك التغير الحاد قيم شاذة في حساب الاحتياجات. وعليه فإن الاحتياج إلى الفوسفور 72 جم/يوم (انظر أعلى) بالإمكان تغييره إلى 57جم/ يوم وذلك لتغير q_m من 0.69 إلى 0.71، والتي نجدها غير مقبولة. على ضوء هذه الملاحظات وعلى حقيقة استخدامنا السابق لمقاييس أثبتت بأنها مقنعة وعلى مدى سنوات، عليه نقرر الاحتفاظ بالقيم الخاصة بالإتاحة وذلك من الطبعة السابقة، و تم استخدام هذه مع طرق (TCORN) لحساب صافي الاحتياجات، لحساب المخصصات في جداول الملحق.

تقترح نتائج تجارب التغذية بأن المخصصات من الكالسيوم والفوسفور أقل كثيراً مما أشير إليه بواسطة الحسابات العاملية (Factorial Calculation) يمكن تقديمها لفترات طويلة بدون تأثيرات سيئة. بناءاً عليه فإن 25 إلى 28 جم من الكالسيوم و 25 جم من الفوسفور/يوم أثبتت أنها كافية لأبقار تنتج 4540 كجم لبن في الموسم وعلى مدى أربعة مواسم إدرار، وهذه تقتضي احتياجاً غذائياً من 1.10 إلى 1.32 جم كالسيوم و 1.10 جم فوسفور/كجم لبن. وقد اشتقت الاحتياجات المبينة في الجدول 3 الملحق من حساب عاملي وعلى الأرجح إنها اعلي من الاحتياج الأدنى ولكنها ضرورية لضمان حياة طبيعية وإنتاج مرضٍ. بينت تجارب الاتزان بأنه حتى المخصصات الوافرة من الكالسيوم والفوسفور كثيراً ما تكون غير كافية لسد حاجات البقرة من هذه العناصر خلال الجزء المبكر من الإدرار. ويحدث في المراحل التالية وفي فترة الجفاف، تخزين للكالسيوم والفوسفور. مثلاً، الشكل 6.16، يوضح

التوازن التراكمي الأسبوعي للكالسيوم والفوسفور طوال 47 أسبوع إدرار لبقرة آيرشاير ناضجة تنتج 5000 كجم لبن.



شكل 6.16 التوازن ألتجمعي للكالسيوم والفوسفور أثناء الإدرار

(47 أسبوع) وخلال فترة الجفاف.

(From Ellenberger HB, Newlander,JA and Jones CH 1931 *Bull. Vet. Agric. Exp. Stn.*,331.)

بالرغم من الاتزان السلبي الذي حدث في فترات طويلة من بداية الإدرار، إلا أن هناك صافي اتزان إيجابي على طول الإدرار وفترة الجفاف إجمالاً. بناءاً عليه فقد أصبحت ممارسة طبيعية أن نعتبر الإدرار الكامل في تقييم الاحتياجات من الكالسيوم والفوسفور؛

وينظر إلى التوازنات السلبية المبكرة بأنها طبيعية، نظراً لعدم وضوح تأثيرات سيئة طالما يحدث سد العجز في مخزون الجسم فيما بعد، وان الاحتياجات اليومية صممت على أساس إنتاج كلي طوال الإدرار. زمن ناحية أخرى، بالرغم من أن نهج الإدرار مُرضٍ في حالات عديدة، فقد ينشأ خطأ كبير لو أن المخصصات المستخدمة منخفضة جداً. وعندما يكون النقص خطيراً، ربما ينتج عنه ضعف كبير وكسر للعظام، وتكون نتيجته في الحالات الأقل حدة جفافاً غير مألوف قبل الأوان والذي مما يقلل الإنتاج ويقصّر العمر الإنتاجي للبقرة. ويبدو انه لا يوجد سبب لماذا لا تبني الاحتياجات على قياسات الإنتاج الأسبوعية.

ويمكن أن تكون نسبة الكالسيوم إلى الفوسفور مهمة في الأغذية التي بها نقص في الفوسفور. فيما يتعلق بالأغذية العملية، فالدليل على أهمية النسبة متضارب وفي غياب دليل محدد فإن النهج الأفضل هو إبقاء نسبة الكالسيوم إلى الفوسفور بين 1 : 1 و 2 : 1.

وربما يتم افتراض أن صافي الاحتياج اليومي عند حساب مخصصات الماغنسيوم، 3 ملجم / كجم وزن مع تركيز مقداره 0.125 جم/ كجم في اللبن، ومدى تيسر الماغنسيوم الغذائي منخفض جداً نحو 0.17.

عادة تعطى الأبقار المدرة للبن إضافة من كلوريد الصوديوم، ويتم هذا عن طريق إضافة الملح إلى الغذاء أو بواسطة إتاحة الوصول المستمر للعق الملح. يكون الاحتياج الأساسي أكثر للصوديوم عنه للكلور، والذي يكون متوفراً أكثر في الأغذية الاعتيادية. يظهر النقص نفسه في فقدان الشهية، غطاء الجلد الخشن، فتوراً listlessness، فقداً في الوزن وهبوط في إنتاج اللبن. اشتهاء الملح " Salt hunger " ومستويات منخفضة من

الصوديوم في البلازما وفي البول ربما تحدث في أبقار عالية الإنتاجية بعد مدة قصيرة كثلاثة أسابيع إذا لم تدعم الأغذية. فقد الشهية، الوزن والإنتاج ربما تستغرق سنة لكي تظهر. إن صافي الاحتياج من الصوديوم يكون حوالي 8 ملجم/ كجم يوم وهذا لغرض الحفظ زائد 0.60 جم/كجم من اللبن. وعادة ما ينصح بوجوب توفر 28 جم من كلوريد الصوديوم لكل يوم بالإضافة إلى ما هو في الغذاء، أو أن 15 كجم/ طن من كلوريد الصوديوم يجب إضافتها إلى العليقة المركزة.

الاحتياجات من الفيتامينات Vitamin requirements

الفيتامينات مطلوبة من قبل الحيوان المدر للبن ليسمح بتوظيف مناسب للعمليات الفسيولوجية لإنتاج اللبن ومكونات للبن نفسه. يبقي توضيح بأن هناك احتياجاً غذائياً لفيتامينات مخصصة للإدرار ولكن لديها دور في تخليق مكونات اللبن كما هو في حالة البيوتين (Biotin) في تخليق دهن البن.

تشير معظم الدلائل إلى الاستنتاج بأنه طالما تكون مستويات الفيتامينات في الغذاء كافية للحفظ، النمو الطبيعي والتكاثر عليه فلا توجد حاجة لعمل مخصص إضافي للإدرار. ومن ناحية أخرى، يجب المحافظة على مستويات طبيعية من الفيتامينات في اللبن وبالتالي يتعين إعطاء كميات كافية لتحقيق ذلك. يستثنى من ذلك فيتامينات B نظراً لتوفر مصدر كافٍ منها نتيجة للتصنيع الميكروبي في الكرش. إن المحافظة على مستويات طبيعية من الفيتامين في اللبن يعتبر مهما بدرجة خاصة عندما يكون اللبن هو المصدر الوحيد من الفيتامينات بالنسبة للحيوان الصغير كما هو الحال مع الخنزير الصغير والعجل الرضيع.

لبن الشتاء به فيتامين A فعاليته حوالي 2000 وحدة عالمية/كجم. فضلاً عن فيتامين A عديم اللون تقريباً، يحتوي اللبن كميات متباينة من مادة تشكل الفيتامين وهي بيتا—كاروتين. هذه عبارة عن صبغة حمراء، وصفراء في محلول مخفف كاللبن والتي تضفي عليه اللون الغني بالقشدة. وتتفاوت فعالية فيتامين A في اللبن بشكل واسع، وهي حساسة لتغيرات المستويات الغذائية وحتى و إن كانت حوالي 3 % فقط من المأكول فإن مولدات الفيتامين (Provitamin) ستجد طريقها إلى اللبن. لذلك فالأغذية الخضراء مصادر ممتازة من مولد الفيتامين، كما هو ملاحظ من اللون الأصفر الغامق في اللبن المنتج عن طريق أبقار الرعي. و ربما ترفع التغذية بفيتامين A زيادة عن المستويات الكافية للتكاثر فعالية اللبن إلى نحو 20 ضعفاً ولكن بدون تأثير على الإنتاج أو المكونات الكلية للبن. يحدث مخزون كبير من فيتامين A في الجسم وهذه الكميات الاحتياطية ربما يتم السحب منه للمحافظة على المستويات في اللبن. نظراً لأن الحيوان حديث الولادة عادة لديه احتياطي قليل فهو معتمد كليا علي اللبن لسد حاجاته فإنه ضروري تغذية الأم الحاضنة أثناء الحمل والإدرار وذلك للمحافظة على فعالية اللبن. وفيما يتعلق بالأبقار والأغنام لا تنشأ مشكلة في حالة إعطائها فرصة مبكرة في أغذية خضراء ولكن ذلك يحتاج إلى حرص كبير إذا لم يتم ذلك، كما في حالة القطعان في ولادات الشتاء. فالاحتياج اليومي لبقرة مدرة للبن يكون حوالي 99 وحدة عالمية / كجم وزن أو 30 ملجم/كجم وزن. يوجد دليل بأنه ربما أن هناك احتياجاً للبيتا – كاروتين نفسه، يتميز تماماً عن وظيفته كمولدات للفيتامين (Provitamin). عندما توضع الأبقار الحلابة على أغذية ناقصة من فيتامين D وتمنع عنها الأشعة، تظهر أعراض نقص،

توضح أن الفيتامين ضروري للصحة والطبيعية. ومن جهة أخرى، ليس هناك دليل، على احتياج أكبر من ذلك المقدار الداعم للحفظ والتكاثر. وتتأثر فعالية فيتامين D في اللبن بشكل كبير بواسطة مدى التعرض إلى ضوء الشمس وتكون الكميات الكبيرة المأكولة أساسية لزيادة قليلة في تركيزه في اللبن. إن لحقن الفيتامين تأثيراً طفيفاً في تحسن التوازن السلبي للكالسيوم والفوسفور والذي يحدث في بداية الإدرار، ولكن جرعات كبيرة جداًً (20000000 وحدة عالمية) لمدة ثلاثة إلى خمسة أيام قبل الولادة ويوم واحد يلي الولادة يُزعم أنه بعمل علي التحكم في حمى اللبن. الاحتياج اليومي للبقرة الحلابة حوالي 10 وحدة عالمية / كجم وزن.

التناول الغذائي من فيتامينات B غير ذي أهمية في الحيوانات المجترة بسبب تخليقها في الكرش. الاحتياج الفسيولوجي، بالإضافة إلى ما هو مطلوب للمحافظة على مستويات طبيعية في اللبن، بسبب أن العديد منها تدخل في نظم أنزيمية معقدة مسئولة عن تصنيع اللبن.

تأثيرات تحديد المأكول من الغذاء على إنتاج اللبن

Effects of limitation of food intake on milk production

هناك الكثير من الأدلة تبين أن لانخفاض تناول الغذاء تأثيراً كبيراً على كل من إنتاج ومكونات اللبن. فعندما تبقى الأبقار بدون غذاء يهبط الإنتاج إلى مستويات منخفضة جداً نحو حوالي 0.5 كجم لكل حلبة في غضون ثلاثة أيام. وفي نفس الوقت ترتفع محتويات الجوامد غير الدهنية والدهن نحو حوالي ضعف مستوياتها السابقة، وتكون الزيادة بسبب التركيز الناتج من الإنتاج المنخفض. ويخفض التقييد الأقل حدة الإنتاج إلى نطاق أقل؛ يُخفَّض محتوى الجوامد غير الدهنية ولكن التأثير على الدهن يكون متبايناً.

إن لتحديد جزء الطاقة في الغذاء تأثيراً كبيراً على محتوى الجوامد غير الدهنية ويكون هذا التأثير أكبر مما في حالة البروتين، بالرغم من أن جزء البروتين هو الذي يخفض في الحالتين كلتيهما. ويبين تركيز اللاكتوز تغيراً طفيفاً، كما هو متوقع في المحدد الرئيسي للضغط الأسموزي للّبن. ويرجَّح بأن معظم هبوط محتوى البروتين بسبب زيادة عملية "Gluconeogenesis" وهي تكوين الجلوكوز من الأحماض الأمينية نتيجة انخفاض مصدر البروبيونات propionate في الأغذية منخفضة الطاقة. إن نتيجة ذلك، هو انخفاض تزوّد الغدة الثديية بالأحماض الأمينية وكذلك تخليق البروتين. ويمكن كذلك إدراك أن المصدر المنخفض في الطاقة يحد من تخليق البروتين الميكروبي في الكرش، وبالتالي توفر الأحماض الأمينية للغدة الثديية. على طول فترة التغذية الشتوية وفي المملكة المتحدة هناك تناقص في إنتاج اللبن ومحتوى الجوامد غير الدهنية في معظم القطعان، ويكون معدّل النقص أكثر

وضوحاً في الفترة المتأخرة. ولعل النمط التقليدي هو زيادة كل من الإنتاج والجوامد غير الدهنية كلما أتيح للأبقار المرعى الربيعي. ولقد اتضح بالتجربة بأنه عندما تكون التغذية الشتوية عالية، فقد لا تحدث تلك الزيادات وفي واقع الأمر قد ينتج التأثير العكسي. لذلك لعله يبدو أن التغذية الشتوية للأبقار الحلابة كثيراً ما تكون غير كافية. إن التغيير إلى تغذية المرعى في الربيع كثيراً ما يكون مصحوباً بهبوط في محتوى الدهن في اللبن. المراعي الربيعية بها محتوى منخفض من الألياف الخام ومحتوى مرتفع من الكربوهيدرات الذائبة؛ أغذية أخرى لديها خصائص مماثلة تُسبب انخفاضاً في دهن اللبن. ربما تكون نسبة العلف المالئ إلى المركز بهذه الأغذية منخفضة أو لعل العلف المالئ الموجود بها مطحون بشكل تام. التأثير موضح جيداً في جدول 15.16.

جدول 15.16 مقارنة محتويات الدهن في ألبان منتجة على أغذية مختلفة مع المنتجة على غذاء يحتوى 5.4 كجم من الدريس + مركزات

(After Balch C C et al. 1954 *J. Dairy Res.*, 21, 172)

الغذاء	التغير في دهن اللبن (جم/كجم)
3.6 كجم دريس + مركزات	11.6 -
3.6 كجم دريس مطحون + مركزات	17.2 -

يصبح الهبوط في محتوى الدهن أكثر وضوحاً كلما انخفضت نسبة العلف المالئ في الغذاء إلى أقل من 400 جم/كجم مادة جافة، وأقل من 100 جم/كجم مادة جافة ربما

يكون متوسط محتوى الدهن في القطيع أقل من 20 جم/كجم. وتوحي البيانات المتباينة بأن مقياس الألياف الأكثر ارتباطاً بمحتوى الدهن هو ألياف المنظف الحمضي (Acid detergent fibre،ADF) والذي يتكون من سيليولوز، لجنين، نيتروجين غير ذائب في المنظف الحمضي ورماد غير ذائب في الحمض. ويجب إبقاء محتوى (ADF) عادة في غذاء البقرة الحلوب أعلي من 190 جم/كجم ولكن ذلك قد لا يكون ممكنا لو أن الاحتياجات من الطاقة عند أوقات الإنتاج الأعلى يراد تغطيتها، وعند تلك الفترة فإن خطر إنتاج لبن منخفض الدهن يكون كبيراً. درجة الطحن (حجم الحبيبة) خاصة جزء العلف المالئ، له تأثير مهم في محتوى دهن اللبن، وقد اقترح بأن الحد الأدنى المسموح به في طول القطع (chop) يكون حوالي 7 مم. يلزم معلومات أكثر عن تأثير تلك العوامل كقدرة الأغذية على أن تعمل كمنظم وتكرار التغذية، في تحسن أو تأكيد تأثيرات الأغذية منخفضة الألياف والمطحونة وذلك قبل إمكانية عمل بيانات نهائية عن أي منها. وتكون محتويات الدهن المنخفضة مصحوبة عادة بتغيرات في مكونات الأحماض الدهنية وبتناقص في الأحماض المشبعة وزيادة في الأحماض غير المشبعة وخاصة حمض

(octadecenoic – 9) حيث تكون التغيرات في محتوى الدهن والمكونات مرتبطة بتغيرات في أنماط تخمر الكرش. وتعجز الأغذية منخفضة الألياف في تحفيز الإفراز اللعابي وبالتالي تُضعف القوة المنظمة لسائل الكرش. وتتخمر مثل تلك الأغذية غالباً بسرعة، مسببة في ارتفاعات واضحة في إنتاج الحمض وقيم منخفضة جداً في قوة تركز أيونات الهيدروجين (pH). إن نتيجة ذلك، هو تثبيط نشاط الكائنات الحية الدقيقة الهاضمة للألياف

السيليولوزية وتشجيع مختلف الأنواع المستغلة للنشا. وتنعكس هذه التغيرات في تغيرات في توازن الأحماض الدهنية الطيارة (VFA) قي الكرش. وستكون النسب المولارية للأحماض الدهنية الطيارة في حالة أغذية عالية الألياف حوالي 0.70 حمض خليك، 0.18 حمض بربيونيك و0.12 حمض بيوتاريك مع عدد من الأحماض العالية الموجودة بكميات صغيرة فقط. لو انخفض محتوى الألياف في الغذاء وازدادت المركزات، فإن نسبة حمض الخليك تقل وربما تصبح أقل من 0.4 في الحالات الشديدة. ويكون هذا الهبوط عادة مصحوباً بنقص في حمض البيوتاريك وزيادة في حمض البروبيونيك والتي ربما تكون أكثر من 0.45 من مجموع الأحماض الموجودة: ربما يرتفع تركيز حمض الفاليرك كذلك.

وتكون الأغذية المحتوية على نسب عالية من الكربوهيدرات التي تم معاملتها لزيادة تيسرها، كما هو الحال مع النشا في رقائق الذرة، فعالة وخصوصاً في زيادة نسبة الخلات إلى البروبيونات وخفض محتوى الدهن (جدول 16.16).

وبينت تجارب تم فيها وضع أحماض دهنية طيارة في كرش أبقار حلابة بأن الخلات والبيوتاريت ترفع محتوى دهن اللبن بينما البروبيونيت تخفضه.

ولقد اقترح بأنه لو انخفضت نسبة حمض الخليك إلى البروبيونيك في محتوى الكرش تحت 3 : 1 عند ذلك سوف تنتج ألبان ذوات محتوى منخفض من الدهن. واقترح باحثون آخرون بأن المحدد الأكثر أهمية لمحتوى دهن اللبن هو توازن الأحماض الدهنية الطيارة الجلوكونية

جدول 16.16 علاقة النشا الغذائي المطبوخ مع محتوى دهن اللبن ومع الأحماض الدهنية الطيارة في الكرش

(After Ensor W L et al. *J. Dairy Sci.* , 42 , 189)

الغذاء	نسبة التغير في محتوى الدهن	النسبة المولارية في مجموع الأحماض الدهنية الطيارة في الكرش	
		حمض خليك	حمض بروبيونيك
12.4 – 14.5 كجم دريس مطحون محبب	**0**	**0.68**	**0.20**
12.4 كجم دريس مطحون محبب + **1.8** كجم ذرة مطحونة	**- 13**	**0.62**	**0.25**
12.4 كجم دريس مطحون محبب + **1.8** كجم ذرة مطبوخة	**- 53**	**0.54**	**0.31**

وغير الجلوكونية في الكرش. وهذا يعرّف على وجه التقريب بالنسبة غير الجلوكونية the non–glucogenic ratio (NGR):

$$\mathbf{NGR} = (A + 2B + V) / P + V$$

حيث V، B ، P ، A هي النسب المولارية من الخلات، البروبيونات، البيوناريت والفاليريت في محتويات الكرش. وعندما تقل النسبة إلى أدنى من 3 فإن خطر إنتاج ألبان منخفضة الدهن يزداد.

هناك اتجاه بأن يعتبر الدهن الغذائي وببساطة مصدر الطاقة، ومن ناحية أخرى، فقد تبين بأنه عندما يُستبدل الدهن بواسطة كمية نشا مساوية له في الطاقة في غذاء البقرة الحلابة عليه فان إنتاج اللبن ربما يتناقص. هناك دليل أيضاً على أن الأغذية التي بها

50 - 70 جم مستخلص إيثيري / كجم مادة جافة تنتج أكثر لبن مما تنتجه الأغذية المحتوية على أقل من 40 جم/كجم. معظم الأعلاف والحبوب الغذائية بها محتويات منخفضة من الليبيدات مرتبة من 15 إلى 40 جم/كجم، ويتم تعزيز محتوى الدهن في الغذاء عادة عن طريق تلك الأغذية التكميلية المركبة.

إن توفير مستويات عالية من الدهن الغذائي يكون مهماً وخاصة الأبقار عالية الإنتاج وعندها فإن تحديد المأكول تجعل من الصعب توفر طاقة كافية. إضافة إلى ذلك، فإن زيادة محتوى الدهن على حساب جزء النشا يمكن أن يساعد في تصحيح اضطراب الدهن المنخفض "Low fat syndrome" الذي يحدث مع الأغذية منخفضة الألياف وعالية في النشا. هذه هي النتيجة من زيادة دمج أحماض دهنية طويلة السلسلة من الدهن الغذائي إلى دهن اللبن بينما تصنيع الأحماض الدهنية قصيرة السلسلة "*de novo*" ينخفض. وربما ينخفض تركيز البروتين وليس إفراز البروتين الكلي في اللبن ، ولسوء الحظ فان الدهن المضاف يميل إلى إضعاف التخمر وهضم محتويات جدار الخلية النباتية في الكرش وقد ينخفض المأكول. ويكون التأثير كبيراً مع الأعلاف الخشنة عالية الجودة كما يكون التأثير في حالة مواد منخفضة الجودة يكون مهملاً. ومن هذه الناحية فان الزيوت غير المشبعة تكون غير مرغوبة كثيراً مقارنة بالدهون الأكثر تشبعا.

لذلك فان تقديم زيت كبد الحوت عند حوالي 200 جم/كجم يمكن أن يخفّض محتوى الدهن بما يصل إلى 25 % وان زيت الرنكة له تأثير مشابه. ولقد أخذ في الاعتبار عموماً بأنه لا يجب إضافة أكثر من 0.5 كجم دهن إلى العليقة اليومية للبقرة الحلابة، وقد

تستعمل مستويات أعلى لو انه دهن محمي وبذلك تتجنب تأثيراته الضارة على الكرش وبذلك تتم الهدرجة، الإذابة والهضم بشكل طبيعي.

وقد أثبتت أقراص من أملاح الكالسيوم مع أحماض دهنية بأنها أشكال فعالة للدهن المحمي. و تكون الأحماض الدهنية بهذا الشكل متوفرة بدرجة أقل وبالتالي يكون اقل سمية للكائنات الحية الدقيقة في الكرش مقارنة بالأحماض الدهنية الحرة الناتجة عن طريق تحلل الدهن. إضافة إلى ذلك، فان تحرر الأحماض الدهنية إلى الكرش والذي يتبع استهلاك الدهن، يؤدي إلى تثبيت الكالسيوم، وبذلك تحرم منه ميكروبات الكرش والذي يعتبر ضرورياً لها. وهذا لن يحدث مع صابون الكالسيوم ويعتقد بأن ما يصل إلى 5 % من احتياج الطاقة الأيضية ربما يتم توفيره بواسطة الدهن الغذائي عند استخدام تلك النواتج.

إن طبيعة الدهن الغذائي قد يكون لها تأثير كبير على مكونات دهن اللبن، فالأغذية الغنية بأحماض دهنية بمستوى البالمتيك غالباً ترفع نسبة هذه الأحماض في دهن اللبن على حساب أحماض من نوع C18. وتسبب الدهون الغذائية الغنية بأحماض مشبعة وغير مشبعة زيادة إنتاج أحماض Stearic , oleic ويصحب ذلك نقص في أحماض ذوات سلسلة أقصر، وخصوصا palmitic. ولم يتأثر إفراز أحماض اللينوليك linoleic واللينولينك linolenic بسبب الهدرجة المكثفة التي تحدث في الكرش. هناك بعض الدلائل بأن الأحماض (C18) غير المشبعة عديدة الروابط الزوجية يمكن أن تؤثر في نسبة الخلات إلى البروبيونيت في الكرش. فزيت فول الصويا، مثلاً، غني بحمض لينوليك ويمكن أن يخفّض وبشكل ملحوظ نسبة الخلات إلى البربيونيت. الأغذية التي تخفّض محتوي دهن اللبن تزيد نشاط الإنزيمات

في النسيج الدهني والمتضمنة في تخليق الأحماض الدهنية وثلاثي أسيل جلايسرول"triacylglycerol ". في نفس الوقت يحدث انخفاضاً أقل وضوحاً في نشاط تلك الإنزيمات في النسيج الثديي. تكون نتيجة ذلك كمية الخلات المتوفرة لتخليق دهن اللبن منخفضة بسبب استخدامها في تخليق الأحماض الدهنية في النسيج الدهني. ويمكن أن يكون لتحفيز تخليق ثلاثي أسيل جلايسرول تأثير مماثل علي مستوى الأحماض الدهنية الحرة في البلازما. تخليق الليبيدات البروتينية منخفضة الكثافة في الكبد Low density lipoproteins وتجهيز الغدة الثديية بها لتخليق الدهن من الممكن أن يتناقص. وتسبب التغيرات المتزامنة في الغدة الثديية أخيراً خفض تجهيز المواد الأولية "precursors" المراد استخدامها وجعلها أقل كفاءة لتخليق دهن اللبن. إن حقن الجلوكوز عن طريق الوريد يخفض تركيزات جلايسريد البلازما، مضيفاً الدعم لفكرة أن تأثير الأغذية منخفضة الدهن بسبب زيادة الطبيعة الجلوكوجينية (glucogenic) لمخلوط الأحماض الممتصة من الكرش بتلك الأغذية. التغيرات في الكربوهيدرات الغذائية والتي تقلل محتوى دهن اللبن تميل إلى زيادة محتوى البروتين لو أن مصدر البروتين الغذائي كافٍ. قد يتطلب أسبوعين أو ثلاثة أسابيع ليظهر هذا التأثير نفسه ويكون في مستوى 8 جم بروتين/كجم لبن. يحتمل أن يكون لزيادة إنتاج حمض البروبيونيك بتلك الأغذية تأثير احتياطي لأحماض أمينية جلوكوجينية معينة مثل جلوتاميت "glutamate"، وتصبح الكثير من الأحماض متاحة للغدة الثديية لتخليق البروتين. وسيكون لزيادة المأكول من الطاقة في ذاته، والذي يحدث عادة مع تلك الأغذية نفس التأثير.

وربما يخفض الانخفاض في مستوى البروتين الغذائي إنتاج اللبن وبشكل ثابت، محتوى النيتروجين غير البروتيني. البروتين قليل التأثر إلى أن يهبط المأكول من البروتين أقل من 60 % من الاحتياج، ويرجح أن يكون هذا نتيجة عدم كفاية الأحماض الأمينية الضرورية، وبالدرجة الأولى الميثايونين"methionine"، متبوعاً بالثريونين "threonine" و التريبتوفان "tryptophan".

احتياجات الماعز الحلاب من العناصر الغذائية

Nutrient requirements of the lactating dairy goats

بالإضافة إلى البقرة الحلوب، فالماعز كذلك يستخدم في الإنتاج التجاري للّبن لغرض الاستهلاك البشري. ويختلف الإنتاج تبعاً للسلالة (أنظر جدول 17.16) ولمرحلة الإدرار، وتحدث قمة الإنتاج عند حوالي أربعة أسابيع. ويستمر الإدرار طبيعياً حوالي تسعة إلى عشرة أشهر وخلال ذلك الوقت قد يتم إنتاج ما يصل إلى 1350 كجم من اللبن. وتؤثر السلالة ومرحلة النمو أيضاً في مكونات اللبن، حيث يهبط محتوى الجوامد لكلية إلى الحد الأدنى عند حوالي أربعة أشهر، يرتفع في الأشهر الثلاثة التي تليها ومن ثم يبقى ثابتاً حتى نهاية الإدرار. يمكن أن تشتق احتياجات الماعز الحلاب إلى العناصر الغذائية عاملياً من تقديرات احتياجات الحفظ، إنتاج اللبن وتغير الوزن الحي.

جدول 17.16 إنتاج ومكونات اللبن في سلالات مختلفة من الماعز.

(**From Knowles F and Watkin J.E. 1938** ***J. Dairy Res.*****, 9, 153**)

السلالة	الدهن (جم/كجم)	بروتين خام (جم/كجم)	كالسيوم (جم/كجم)	فوسفور (جم/كجم)	إنتاج الإدرار (كجم)
أنجلونوبيان	56	38.5	1.56	1.39	840
سانين انجليزي	41	31.0	1.26	1.04	1325
ألباين انجليزي	43	32.7	1.37	1.18	1135
توجينبرج انجليزي	45	34.1	1.44	1.26	1077

الاحتياج إلى الطاقة **Energy Requirements**

يمكن حساب الاحتياج الصافي من الطاقة لغرض الحفظ تحت الظروف الداخلية (داخل الحظائر) بما يساوي 0.325 ميجا جول/كجم وزن$^{0.75}$. ويجب زيادة هذه بحوالي 10 % لحيوانات الرعي تحت ظروف الأراضي المنخفضة وبحوالي 20 % لتلك الموجودة في الهضاب، وعندما تكون المكونات التفصيلية للّبن غير متوفرة يمكن حساب قيمة الطاقة (EV_1) كما يلي:

$$\mathbf{EV_1\ (\ MJ\ /kg\ ) = 2.97 + 0.047\ (\ \mathit{F} - 40\ )}$$

حيث (F) هي محتوى الدهن (جم/ كجم). عند عدم توفّر البيانات، فإن قيمة 3.25 ميجا جول/كجم أو قيم السلالة مبنية على الأرقام في جدول 17.16 يمكن تبنيها.

وفي حالة غياب معلومات محددة فقد اقترح تبنّي قيماً مثل 0.7 و 0.62 لغرض k_m و k_l على التوالي.

الاحتياجات من الطاقة الأيضية لغرض الحفظ هي بالتالي 0.464 ميجا جول/كجم وزن$^{0.75}$ لحيوانات موجودة داخل الحظائر، و0.511 و 0.557 ميجا جول/كجم وزن$^{0.75}$ لتلك الموجودة في مراعي الأراضي المنخفضة والهضاب على التوالي. لغرض إنتاج اللبن، ربما يفترض احتياج مقداره EV_l \0.62. ويقترح الدليل المنشور أن كل كيلوجرام من النسيج المتحرك في الجسم يساهم بما يعادل 21.5 ميجا جول من الطاقة الصافية في اللبن. إذا افترضنا بأن كفاءة الاستفادة لإنتاج اللبن هي 0.84 إذاً يشار إلى طاقة كلية من نسيج متحرك مقدارها 26 ميجا جول/كجم، ومساهمة تكافئ 34.7 ميجا جول للطاقة الأيضية المأكولة في الماعز. لكل كيلوجرام زيادة في الوزن الحي في الماعز فإن ذلك يتطلب مأكولاً غذائياً من الطاقة الأيضية مقداره 44 ميجا جول (26 \ (0.62 × 0.95)).

الاحتياج إلى البروتين Protein requirements

إن صافي الاحتياج من البروتين لغرض الحفظ هو 2 جم/كجم وزن$^{0.75}$. وتتراوح تقديرات محتويات البروتين الخام في اللبن في الماعز الحلاب الحديث من 27 إلى 35 جم/كجم. وبأخذ قيمة متوسطة (31) فإن ذلك يعطي محتوى مقبولاً للبروتين الحقيقي نحو 29.5 جم/كجم. وعندما تكون المعلومات متوفرة يجب استخدام قيمة مفضلة عوضا عن ذلك. بالقياس مع البقرة الحلابة يكون محتوى البروتين في لتغير الوزن الحي (ΔW) هو 138 جم/كجم.

وتكون كفاءة الاستفادة 1.0 للحفظ، 0.68 لإنتاج اللبن، 0.59 للنمو و 0.70 لاستخدام بروتين النسيج المتحرك لإنتاج اللبن. إذاً يكون الاحتياج من البروتين الأيضي، حيث (Y) إنتاج اللبن بالكيلوجرامات:

$$\mathbf{MP\ (g/d) = 2 \times \mathit{W}^{0.75}\ \ 29.5\ \mathit{Y} / 0.68 + 138\ \times \Delta\ \mathit{W} / 0.59}$$

عندما تكون ΔW موجبة وتكون

$$\mathbf{MP\ (g/d) = 2 \times \mathit{W}^{0.75}\ \ 29.5\ \mathit{Y} / 0.68 - 138\ \times 0.7 \Delta\ \mathit{W} / 0.58}$$

عندما تكون ΔW سالبة

إن تأثير الكفاءة الحدية الأعلى 0.70 مقارنة مع 0.68 تكون الأدنى ويمكننا أن نكتبها:

$$\mathbf{MP\ (g/d) = 2 \times W^{0.75} + 29.5\ Y / 0.68 - 138 \times \Delta\ \mathit{W}}$$

الاحتياج اليومي من البروتين المتحلل (ERDP) معطاة وفقا للصيغة

(11 × FME) جم حيث FME (ميجا جول/يوم) هي المأكول من الطاقة الأيضية المتخمرة. إن مساهمة (ERDP) الغذائي في لسد الطلب من البروتين الأيضي ربما يحسب، كما هو الحال في الأبقار كما يلي: ERDP × 0.6375.

يحسب الاحتياج اليومي من البروتين غير المتحلل المهضوم (DUP) كما يلي:

$$DUP\ (g/d) = MP - 0.6375 \times ERDP$$

الاحتياج من الكالسيوم، الفوسفور والماغنسيوم

Requirements for Calcium, phosphorus and Magnesium

تكون الفواقد الداخلية (صافي احتياجات الحفظ) 20 ملجم كالسيوم، 30 ملجم فوسفور، و3.5 ملجم ماغنسيوم لكل كيلوجرام وزن حي في اليوم. صافي الاحتياجات لإنتاج اللبن هي 1.3 جم كالسيوم، 1.1 جم فوسفور و 0.20 جم ماغنسيوم/ كجم لبن (جدول 1.16). هناك قلة في المعلومات عن مدى تيسر العناصر المعدنية الغذائية للماعز وقد اقترحت قيم مستخدمة للأغنام، 0.51، 0.58 و0.17 للكالسيوم الفوسفور والماغنسيوم على التوالي ويجب تبنيها.

مثال لحساب احتياجات الماعز من العناصر الغذائية مبين في جدول 18.16.

جدول 18.16 حساب الاحتياجات من العناصر الغذائية لماعز ورزن 50 كجم تنتج 5 كجم لبن به 40 جم دهن /كجم، وتفقد 50جم من الورزن الحي في اليوم.

الاحتياج من الطاقة الايضية للحفظ M_m (ميجاجول/يوم) $=0.46 \times 50^{0.75}$	8.65 =
الاحتياج من الطاقة الايضية لإنتاج اللبن M_l (ميجاجول/يوم) 5 x 5.24	26.20 =
الاحتياج من الطاقة الايضية للنمو M_g (ميجاجول/يوم)−0.05 x 34.7	1.73- =
الاحتياج من الطاقة الايضية للحفظ والانتاج $M_m + M_p$ (ميجاجول /يوم)	33.11 =
تصحيح مستوي التغذية $(1 + 0.018\ M_p \setminus M_m)$	1.05 =
الاحتياج من الطاقة الايضية للحفظ والنمو M_{mp} (ميجاجول/يوم) = 1.050 x32.75	34.81 =
الطاقة الايضية المتخمرة FME (ميجاجول /يوم)	29.37[a] =
البروتين المتحلل فعليا في الكرش ERDP (جم/يوم) =FME x 11	323.1 =
البروتين الايضي (جم/يوم) $=(2.0 \times 50^{0.75})+(31 \times 0.95 \times 5.0 \setminus 0.68)-(0.05 \times 138)$	247.3 =
مصدر البروتين الميكروبي (جم/يوم) =0.6375 x 323.1	206.0 =
البروتين المتحلل غير المهضوم (جم/يوم) = 247.3 − 206.0	41.3 =
كالسيوم (جم/يوم) (1.3 x 5+0.02 x50) \ 0.51	14.7 =
فوسفور (جم/يوم) (1.1 x5 + 0.03 x50) \ 0.58	12.1 =
ماغنيسيوم (جم/يوم) (0.20 x5+0.0035 x 50) \ 0.17	6.9 =

[a]قيم مفترضة

احتياجات النعاج الحلابة من العناصر الغذائية

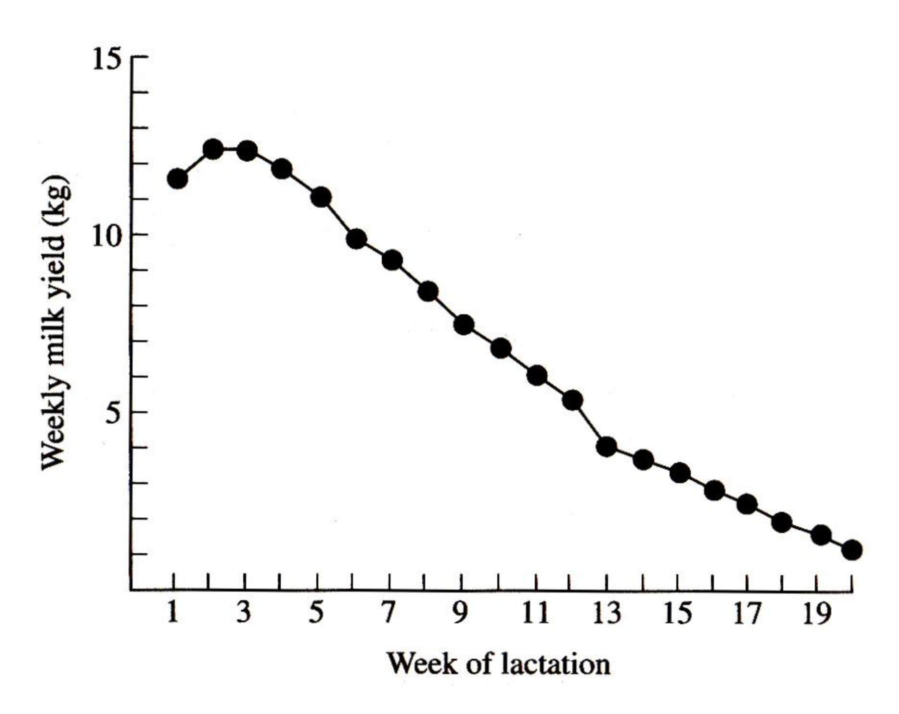
Nutrient requirements of the lactating ewe

يستمر الإدرار عادةً في النعاج من 12 إلى 20 أسبوعاً، بالرغم من أن الاختلافات الفردية كبيرة جداً. ولمرحلة الإدرار تأثير واضح على إنتاج اللبن والذي يكون في الحد الأعلى عند الأسبوع الثاني والثالث ثم يهبط باعتدال، كما هو موضح في حالة نعاج من النوع سافولك "Suffolk" في جدول 17.16.

ولقد تم حساب أن حوالي 38 % من الإنتاج الكلي يُحصل عليه في الأسابيع الأربعة الأولى من الإدرار، 30 % في الأسابيع الأربعة اللاحقة، 21 % في الأسابيع الأربعة التالية ثم 11 % في الأسابيع الأربعة الأخيرة.

ومن الصعب مقارنة إنتاج اللبن لسلالات مختلفة نظراً لأن البيانات تم الحصول عليها تحت ظروف مناخية مختلفة جداً، وتشير مستويات تغذية وتقنيات أخذ العينة هذه من ناحية أخرى، إلى أن الاختلافات موجودة (جدول 19.16) وان الاختلافات داخل السلالة كثيراً ما تكون كبيرة .

الحيوانات المرضعة لأكثر من حمل واحد تنتج لبناً أكثر من تلك المرضعة لحملان فردية، ويرجح أن يكون الإنتاج الأعلى بسبب التكرار الأعلى من الرضاعة وتفريغ أكبر للضرع، مشيراً إلى أن الحملان الفردية تكون غير قادرة على إزالة لبن كافٍ من الضرع لتسمح بإنجاز إمكانية الحلب الكاملة.



شكل 7.16 تأثير مرحلة الإدرار على إنتاج اللبن في الأغنام.
(From Wallace L R 1948 *J. Agric. Sci , Camb.*, 38, 93)

إنّ البيانات على مكونات لبن الأغنام قليلة نسبياً، و تؤثر تلك العوامل مثل تقنيات أخذ العينة، مرحلة الإدرار والفترات الزمنية بين الحلب جميعها في المكونات والقيم غير مقارنة تماماً وتظهر اختلافاً كبيراً. بناءً عليه تختلف القيم المنشورة لمتوسط محتويات الدهن والبروتين للسلالة من 50 إلى 100 جم/كجم ومن 40 إلى 70 جم/كجم على التوالي.

جدول 19.16 إنتاج الإدرار (12 أسبوع) في سلالات مختلفة من الأغنام

الإنتاج (كجم)		السلالة
فردية	توائم	
115	**148**	**Romney March**
91	**-**	**Cheviot**
124	**211**	**Border Leicester /Cheviot**
94	**145**	**Suffolk**
75	**79**	**Hampshire Down**
102	**142**	**Scottish Blackface**
133	**206**	**Finnish Landrace / Scottish Blackface**

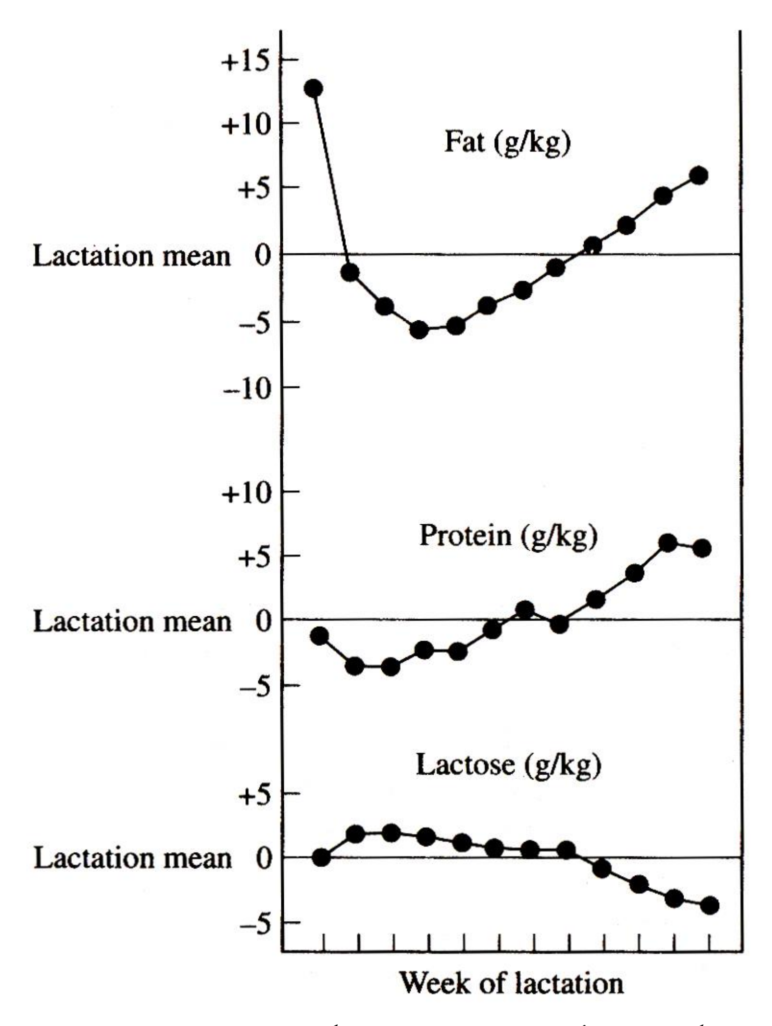
ولعل اختلافات السلالة فيما يتعلق بالمكونات موضحة القيم المعطاة في جدول 20.16. تتأثر مكونات لبن النعاج بمرحلة الإدرار كما هو موضح في شكل 8.16.

جدول 20.16 تأثير السلالة على مكونات لبن الأغنام (جم/كجم) .

(After Neidig R E and Iddings E J 1919 *J. Agric. Res.*, 17, 19)

جوامد غير دهنية	الدهن	السلالة
97.5	**71**	**Hampshire**
95.2	**77**	**Cotswold**
96.7	**81**	**Shropshire**
103.6	**75**	**Southdown**

التغيرات مشابهة لما هو في البقرة الحلابة لو أن المخصص تم إعداده لطول مختلف للإدرار. يمكن أن تُشتق احتياجات النعجة الحلابة من العناصر الغذائية عاملياً من تقديرات احتياجات الحفظ، إنتاج اللبن وتغير الوزن الحي.



شكل 8.16 تأثير مرحلة الإدرار على مكونات اللبن في نعاج سلالة

Finnish Landrace x Blackface

(From Peart JN et al. 1972 *J. Agric. Sci. Camb.*, 79, 303)

صافي احتياج الحفظ (E_m) لنعاج في حظيرة يمكن حسابها كما يلي:

$$E_m \text{ (MJ / d)} = 0.226 \text{ (} W / 1.08 \text{)}^{0.75} + 0.0096\, W$$

حيث W هي الوزن الحي (كجم).

وسيكون مقدار الزيادة في النشاط أكبر في النعاج الموجودة خارج الحظائر. ويبدو أنّ 0.0109 لأغنام الرعي تحت ظروف الأرض المنخفضة و 0.0196 لأغنام الهضبة تكون قيماً معقولة.

وقد تمت صياغة قيمة الطاقة في لبن النعاج في المعادلة التالية:

$$Ev_1 \text{ (MJ/}K_g\text{)} = 0.0328\, F + 0.0025\, D + 2.20$$

حيث أن (F) = محتوى الدهن (جم/كجم) و (D) = أيام الإدرار.

البديلً عن ذلك، قيمة 4.6 ميجا جول/كجم يمكن افتراضها عندما لا تتوفر معلومات عن المكونات.

اختلفت تقديرات قيمة الطاقة في النسيج المتحرك في النعجة الحلابة من 17 إلى 68 ميجا جول/كجم، ويكون مرتفعاً ومختلفاً في بداية الإدرار بشكل خاص. واقترح في غياب دليل محدد، بأنه بالقياس مع البقرة الحلابة، بالإمكان اتخاذ قيمة نحو 26 ميجا جول/كجم.

ويساهم كل كيلوجرام من النسيج المتحرك بما يعادل 26 × 0.84 = 21.84 ميجا جول طاقة صافية كلبن و يضيف كل كيلوجرام زيادة في وزن الجسم $\frac{26}{0.95}$ ميجا جول إضافية إلى صافي احتياج الحيوان من الطاقة لغرض الإدرار.

عوامل الكفاءة المناسبة لحساب الاحتياجات من الطاقة الأيضية هي:

$$K_m = 0.35\ q_m + 0.503$$

$$K_1 = 0.35\ q_m + 0.42$$

البروتين **Protein**

ويحسب الاحتياج من البروتين الأيضي والمؤلف مما يخص الأدمة يحسب كما يلي: 2.19 جم/كجم وزن $^{0.75}$، بالإضافة إلى ما يخص إنتاج اللبن كما يلي:

$$\frac{50}{0.68} = 73.5 \text{ جم/كجم لبن}$$

إضافة إلى ما يخص نمو الصوف يؤخذ ك : 20.4 جم/يوم

زائد أو ناقص تعديل لتغير الوزن الحي (ΔW) ويحسب هكذا:

– 119 جم/كجم ΔW عندما تكون Δ W سالبة، + 140 جم/كجمΔW عندما تكون ΔWموجبة.

ويحدد الاحتياج من البروتين المتحلل عن طريق:

$$\mathbf{ERDP\ (g/d) = FME\ (MJ/d) \times 11}$$

ويحسب الاحتياج من البروتين المتحلل المهضوم تماماً ك :

$$\mathbf{DUP\ (g/d) = 2.19\ W^{0.75} + 50\ \mathit{Y}/0.68 + 20.4 - 119\ \Delta \mathit{W} - 0.6375\ ERDP}$$

عند فقد الحيوان وزن، أما في حالة كسب الحيوان لوزن فإن:

$$\mathbf{DUP\ (g/d) = 2.19\ W^{0.75} + 50\ Y/0.68 + 20.4 + 140\ \Delta \mathit{W} - 0.6375\ ERDP}$$

حيث (Y) إنتاج اللبن بالكيلوجرامات لكل يوم و (ΔW) تغير الوزن الحي بالكيلوجرامات لكل يوم.

الكالسيوم، الفوسفور والماغنيسيوم

Calcium, phosphorus and Magnesium

مقترحات (TCORN 6) لحساب الاحتياجات من الكالسيوم و الفوسفور للنعاج الحلابة مقارنة بما هو مستخدم في طبعتنا السابقة أدناه:

	تقرير اللجنة الفنية (TCORN 6)	الطبعة السابقة
الكـالسيوم		
الحفظ (جم/يوم)	0.623 مادة جافة مأكولة + 0.228	*W* 0.016
إنتاج اللبن (جم/يوم)	Y 1.2	Y 1.2
مدى الامتصاص	0.68	0.51
الفوسفور		
الحفظ (جم/يوم)	1.6 (0.693 مادة جافة مأكولة– 0.06)	*W* 0.03
إنتاج اللبن (جم/يوم)	Y 1.3	Y 1.3
مدى الامتصاص	0.64	0.58

كما هو الحال مع البقرة الحلابة، فقد تم استخدام طرق (TCORN) لحساب احتياجات الطاقة الصافية، مع القيم المستخدمة في طبعتنا السابقة فيما يتعلق بمدى الإتاحة " availability "، وذلك لحساب القيم المعروضة في جداول الملحق.

يمكن أن يؤخذ صافي احتياج الماغنيسيوم اليومي للحفظ على أنه 0.03 جم/كجم وزن ولإنتاج اللبن 0.17 جم/كجم ومدى الامتصاص 0.17.

لغرض حساب مخصصات العنصر الغذائي، فإن إنتاج اللبن المعطى في جدول 21.16 يمكن تبنيه.

مثال عن حساب الاحتياجات من العناصر الغذائية لنعجة حلاّبة معروض في جدول 22.16. ولا تشمل المخصصات المعروضة في جداول الملحق حد الأمان.

جدول 21.16 إنتاج اللبن المقترح لحساب المخصصات من العناصر الغذائية للنعاج الحلاَّبة.

نوع النعجة	عدد الحملان	إنتاج اللبن			
		12 أسبوع (كجم)	الأيام 1- 28 (كجم/يوم)	الأيام 29– 56 (كجم/يوم)	الأيام 57– 85 (كجم/يوم)
نعاج الهضاب	(1)	86	1.21	1.09	0.75
	(2)	130	1.90	1.63	1.11
نعاج الأرض المنخفضة	(1)	140	2.00	1.80	1.20
	(2)	190	2.90	2.31	1.56

جدول 22.16 حساب الاحتياجات من العناصر الغذائية لنعجة أرض منخفضة تزن 75 كجم في الأسبوع الرابع من الإدرار، ترضع حملين، تتحصل على غذاء به q_m = 0.60 وتفقد 100 جم/كجم.

البند	القيمة
E_m (ميجا جول/يوم) = $0.226 \times (75 \setminus 1.08)^{0.75} + 0.0109 \times 75$	= 6.25
K_m (ميجاجول/يوم) $0.35 \times 0.6 + 0.503$	= 0.713
M_m (ميجاجول/يوم)	= 8.77
E_l (ميجاجول /يوم) = 2.31×4.6	= 10.63
K_l (ميجاجول /يوم) = $0.35 \times 0.6 + 0.42$	= 0.63
M_l (ميجاجول /يوم)	= 16.87
M_g (ميجاجول /يوم) = $- 0.1 \times 21.84 \setminus 0.63$	= -3.47
تصحيح مستوي التغذية $(1 + 0.018\ M_p \setminus M_m)$	= 1.0275
M_{mp} (ميجاجول /يوم) = $1.0275\ (M_m + M_l + M_g)$	= 22.8
الطاقة الايضية المتخمرة (ميجاجول /يوم)	= 19.44
البروتين المتحلل فعليا في الكرش (جم/يوم) = 19.44×11	= 213.8
البروتين الايضي(جم/يوم) = $(2.19 \times 75^{0.75}) + (2.31 \times 73.5) + (-0.1 \times 119) + 20.4$	= 234.1
البروتين غير المتحلل المهضوم(جم/يوم) $234.1 - (213.8 \times 0.6375)$	= 97.8

وتظهر النعاج التي تكون تحت نظام تغذية منخفض جداً أثناء الحمل انخفاضاً سريعاً في إنتاج اللبن أثناء الإدرار التالي مقارنة بحيوانات ذات تغذية كافية. يتفق هذا مع ملاحظات مستقلة وهي انخفاض القدرة الأيضية في نعاج غذيت بمستوى منخفض جداً أثناء الحمل. عندما يكون تحديد الغذاء أقل حده وتبلغ النعاج مرحلة الولادة في حالة هزيلة، اتضح بأنها تحلب كما أنها مغذاة على نحو كافٍ مثل نعاج في حالة تدريجية جيدة عند الولادة. سوف لن تتمكن النعاج من المحافظة على إنتاج عالٍ من اللبن على حساب مخزونات الجسم، وحتى في حالة التحديد النسبي البسيط للمأكول (توفير طلب الحفظ فقط)، قد يخفض إنتاج اللبن بما مقداره 50 % في مدة من 2 إلى 3 أيام. عندما يستمر التقيد إلى ما بعد وقت تحقق قمة الإنتاج العادية وقد تكون استعادة الإنتاج عند ذلك مكتملة حتى ولو رُفع المأكول اللاحق.

الاحتياجات من العناصر الغذائية للخنزير الحلاب

Nutrients requirements of the lactating sow

في معظم وحدات التربية يستمر الإدرار لمدة ثلاثة إلى أربعة أسابيع وتُفطم العديد من الخلفات (litters) عند ثلاثة إلى أربعة أشهر من العمر. يقع الحد الأعلى لإنتاج اللبن عند حوالي أربعة أسابيع وبعد ذلك يهبط الإنتاج تدريجياً كما هو موضح في جدول 23.16.

جدول 23.16 الاختلافات في إنتاج ومكونات لبن الخنزير تبعاً لمرحلة الإدرار

(After Elsley FWH 1970 Nutrition and lactation in the sow. In Falconer I R (ed.) *Lactation* p 398. London, Butterworth)

	الأسبوع							
	1	2	3	4	5	6	7	8
الإنتاج اليومي (كجم)	5.10	6.51	7.12	718	6.95	6.59	5.70	4.89
الدهن (جم/كجم)	82.6	83.2	88.4	85.8	83.3	75.2	73.6	73.1
جوامد غير دهنية (جم/كجم)	115.2	113.2	111.8	114.1	117.3	120.5	126.1	129.9
بروتين (جم/كجم)	57.6	54.0	53.1	55.0	59.2	62.3	68.3	73.4
لاكتوز (جم/كجم)	49.9	51.5	50.8	50.8	49.0	48.6	47.5	45.6
رماد (جم/كجم)	7.7	7.7	7.9	8.3	9.1	9.6	10.3	10.9

يرتفع محتوى الدهن حتى الأسبوع الثالث ثم يهبط حتى نهاية الإدرار، أما محتوى الجوامد غير الدهنية فيكون في الحد الأدنى عند الأسبوع الثالث ثم يرتفع حتى نهاية الإدرار بسبب ارتفاع محتوى البروتين بالدرجة الأولى.

يتفاوت إنتاج اللبن أيضاً بسبب السلالة، العمر وحجم الولادة. ويزداد مع عدد الخنازير الصغيرة الرضيعة بالرغم من أن الإنتاج لكل صغير يتناقص كما هو موضح في جدول 24.16.

جدول 24.16 تأثير حجم الولادة (الخلفة) على إنتاج اللبن في أنثى الخنزير.

(From Elsley FWH 1970 Nutrition and lactation in the sow, In Falconer I R(ed.)*Lactation* P 396. London, Butterworth)

عدد الخنازير									
	4	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
الإنتاج اليومي للّبن (كجم):									
لكل خلفة	**4.0**	**4.8**	**5.2**	**5.8**	**6.6**	**7.0**	**7.6**	**8.2**	**8.6**
لكل خنزير	**1.0**	**1.0**	**0.9**	**0.9**	**0.9**	**0.8**	**0.8**	**0.7**	**0.7**

وتعتبر الهُجن الحديثة من إناث الخنزير ذوات الأوزان الحية العالية عامة قادرة على إعطاء إنتاج أعلى مما تم عرضة في الجداول. وقد تم اقتراح معادلات مختلفة، مماثلة لما في الأبقار الحلاّبة، للتنبؤ بإنتاج إناث الخنزير تلك. ولقد اقترح بأن المعادلة التالية توفر تقديرات مقبولة:

$$\mathbf{Y\ (g/d) =} \boldsymbol{a + e^{-ct} \times u}$$

حيث (a) قيمة عددية، (t) هي يوم من أيام الإدرار.

u هي : $\mathbf{e^{-\exp(G - B_1 t)}}$ وتصف درجة نضج الغدة الثديية عند الولادة ، و ($\mathbf{e^{-ct}}$) تصف معدل تناقص القدرة الإفرازية.

تقديرات للإنتاج مبنية على a = 18 و24، c = 0.025، G = 0.5 و B_1 =0.1 وهذه معطاة في جدول 25.16.

جدول **25.16** تقديرات إنتاج اللبن لإناث الخنزير (جم/كجم)

أيام مرحلة الإدرار				
(*a*)	**7**	**14**	**21**	**28**
18	**6.8**	**8.4**	**8.7**	**8.1**
24	**9.1**	**11.3**	**11.6**	**10.8**

احتياجات الطاقة Energy requirements

إن صافي احتياج أنثى الخنزير من الطاقة الغذائية هو مجموع ذلك المستهلك في الحفظ بالإضافة إلى الطاقة الكلية في اللبن مطروحاً منها مساهمة نسيج الجسم المتحرك "mobilized". تكون احتياجات الحفظ للطاقة الأيضية 0.439 ميجا جول/كجم وزن$^{0.75}$. ويمكن افتراض أن الطاقة الكلية في لبن أنثى الخنزير بنحو 5.2 ميجا جول/كجم، و تكون كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية الغذائية لغرض إنتاج اللبن 0.65 والاحتياج لإنتاج اللبن هو: $\frac{5.2}{0.65}$ = 8.0 ميجا جول طاقة أيضية لكل كجم. ويفترض أنه يحتوي نسيج الجسم المتحرك لتوفير طاقة لإنتاج اللبن 0.85 دهناً، وبذلك يحتوي طاقة كلية نحو 39.4 × 0.85 = 33.5 ميجا جول/كجم. كفاءة تحويل طاقة الأنسجة المتحركة إلى طاقة اللبن هي 0.85، وبناءً على ذلك فإن كل كيلوجرام من النسيج المتحرك يمثل مساهمة تكافئ نحو (33.5 × $\frac{0.85}{0.65}$) = 43.8 ميجا جول إلى مصدر الطاقة الأيضية الغذائية.

تصاغ احتياجات الخنازير من الطاقة عادةً بمفهوم طاقة مهضومة (DE) ويفترض أن النسبة بين للطاقة الأيضية و الطاقة المهضومة (ME : DE) تكون 0.96. لذلك فإن أنثى خنزير

تزن 200 كجم وتنتج 10 كجم لبن وتفقد 0.2 كجم/يوم يمكن أن يكون لها احتياج من الطاقة الأيضية يقدر:

$$(200^{0.75} \times 0.439) + (10 \times 8.0) - (0.2 \times 43.8) = 94.6 \text{ MJ/d}$$

ويكون الاحتياج من الطاقة المهضومة نحو $\frac{94.6}{0.96}$ = 98.5 ميجا جول.

إن صحة نتائج تلك الحسابات العاملية تعتمد على صحة الافتراضات التي أسست عليها الحسابات. ولعل الافتراض الحرج في هذه الحالة هو أن إنتاج اللبن صحيح وان احتياجات أنثى الخنزير الحلابة لغرض الحفظ تساوي احتياجات أنثى غير حلابة. وهناك دليل بأن احتياج الحفظ أكبر بكثير واقترح، بأنه بدلاً من معالجة الحفظ مفصولة، فقد يتوجب استخدام كفاءة إجمالية لتحويل الطاقة إلى لبن وهي 0.45 وذلك في حساب الاحتياجات إلى الطاقة، و سيعطي هذا تقديراً نحو:

$\{(10 \times 5.2) - (0.2 \times 33.5 \times 85 .0)\} / 0.45 = 103$ ميجا جول طاقة مهضومة/يوم.

يكون نهج مماثل مفهوماً ضمنا في استنباط معادلات انحدار " regression " إنتاج اللبن على المأكول من الطاقة مثل تلك المعطاة أسفل :

إنتاج اللبن (ميجا جول/يوم) = 0.0015 + 0.47 (FI) حيث (FI) هي المأكول من الطاقة المهضومة بالميجا جول.

إن مستويات المأكول والمشار إليها عن طريق الحسابات العاملية تكون أعلى مما استعمل في الماضي القريب. نشأ الأخير من الاعتقاد بأن كان الشيء المرغوب هو التغذية لزيادة وزنية عالية جداً أثناء الحمل والاعتماد بشدة على تحريك مخزونات الجسم لتوفير الاحتياج من الطاقة خلال الإدرار. ويحسّن المأكول العالي في الحمل الإنتاج في الإدرار التالي ولكن الشهية تنخفض أثناء الإدرار. ويُعتقد بأن الانخفاض يكون في حدود 0.5 كجم لكل زيادة 0.5 كجم في التغذية أثناء الحمل. نتيجة ذلك قد يكون فقد الوزن في الإدرار زائداً عن الحد الطبيعي، يؤدي إلى إطالة الفترات الفاصلة بين الفطام والإخصاب. ويكون الحد الأعلى لفقد الوزن والممكن احتماله في الإدرار في حدود من 10 إلى 12 كجم. لقد أخذ في الاعتبار الآن بأن الكفاءة الأكبر في الاستفادة من الطاقة تحقق عن طريق إعطاء كميات كافية من الطاقة أثناء الإدرار وذلك بعد تحديد المأكول أثناء الحمل.

ويبدو أن زيادة حقيقية في وزن الجسم في أنثى الخنزير نحو 12 إلى 15 كجم خلال الفترة التناسلية الكاملة (حوالي 25 إلى 27 كجم أثناء الحمل) تعطي أداء تناسلياً نموذجياً وتزود مخزونات الجسم للإدرار. عندما تصمم مستويات المأكول خلال الإدرار لسد الاحتياج، فإن إناث الخنزير تفقد وزناً أقل وتنتج لبناً أكثر من حيوانات على مستوى غذائي أقل. ومن ناحية أخرى، الخنازير الصغيرة التي تم تنشئتها عن طريق إناث تحصلت على مأكول أعلي أخفقت في إظهار ميزة جوهرية. هذا جزئياً بسبب أن الإناث الأقل إنتاجاً أنتجت أغنى لبن وجزئياً بسبب أن الإنتاج الزائد تم الحصول عليه بعد الأسبوع الثالث عندما تم استهلاك الغذاء الاختياري (Creep Feed) والخنازير الصغيرة (Piglets) التابعة لإناث

منخفضة الإنتاج أكلت كمية أكثر من هذا الغذاء. استهلاك غذاء الاختيار متغير ولا يمكن الاعتماد عليه أبداً في تعويض النواقص في إنتاج اللبن في أنثى الخنزير؛ كنوع من الأمان سيكون الأفضل هو تغذية الخنازير الصغيرة عن طريق اللبن وليس بالتغذية الحرة الأكثر كفاءة. وهناك دليل على أن للمستوى المنخفض من الطاقة أثناء الإدرار تأثيراً تراكمياً وان النقص الكبير في إنتاج اللبن وانخفاض الدهن الموجود تحت الجلد ربما يحدث خلال ثلاثة مواسم إدرار. وقد تضمنت تقنيات مختلفة تغذية متكررة، تغذية رطبة، التحبيب (Pelleting)، أغذية عالية الطاقة وتجنب البدانة الزائدة عند الولادة (Farrowing) وقد استخدمت جميعها لتضمن تناول مُرضٍ في الإدرار.

أنه من المهم تقدير عوائق التناول عندما يصمم الأغذية، فالمأكول قد يكون منخفضاً ليصل إلى 4 كجم/يوم عند درجات الحرارة المرتفعة ولكنه قد يصل إلى 7 إلى 8 كجم في ظروف معتدلة البرودة (Cool). ومن النادر في الحالات العادية أن يكون المأكول أعلى من 6.5 كجم والمعتاد أكثر هو حوالي 5 كجم.

احتياجات البروتين Protein Requirements

تعتبر أنثى الخنزير الحلابة محوّلاً فعالاً للبروتين إلى لبن، وتشير معظم الدلائل المتوفرة إلى أن المعامل الظاهري لهضم البروتين أعلى من 0.80 وان الكفاءة الكلية لاستغلال البروتين لزيادة وزن الجسم وإنتاج اللبن نحو 0.70. وتتفاوت تقديرات الكفاءة الكلية لتحويل البروتين الغذائي إلى بروتين لبن من 0.30 إلى 0.45.

إن صافي الاحتياج من البروتين لحيوان حلاب يتألف مما يخص الحفظ زائد ذلك المفرز في اللبن. ربما تُبني تقديرات الاحتياجات من البروتين لغرض الإدرار على قيمة الكفاءة الكلية لاستغلال البروتين، عادة هي 0.40. أنثى خنزير منتجة 10 كجم لبن/ يوم ستفرز (10 × 57) = 570 جم بروتين لكل يوم في لبنها؛ عليه فإن البروتين الخام المطلوب في العليقة اليومية سيكون $\frac{570}{0.40} = 1425$ جم .

لو أن وجبة معطاة بمعدل 7.5 كجم لكل يوم، لذلك يجب أن يكون بها محتوى بروتين خام نحو 190 جم/كجم. ويوجد دليل تجريبي بأن رفع محتوى البروتين الخام في غذاء أنثى الخنزير من 140 إلى 160 أو 190 جم/كجم لا يعمل على زيادة إنتاج اللبن.

المقاييس الحالية في المملكة المتحدة مشتقة عاملياً " factorially ". أخذ احتياج الحفظ على أنه 0.45 جم/كجم وزن ويحتوي اللبن 57 جم/كجم. و سيعطي الاحتياج من البروتين الخام عند الربط بين كفاءة الاستفادة من البروتين المهضوم (0.7) ومعامل هضم البروتين (0.8) كما يلي: **(0.45 *W* + 57 *Y*) / (0.7 × 0.8)**

حيث *Y* هو إنتاج اللبن (كجم/يوم).

ففي حالة أنثى خنزير تزن 200 كجم (أنظر أعلاه) فإن الاحتياج اليومي من البروتين الخام(جم/يوم) يكون:

$$(200 \times 0.45 + 10 \times 57) / (0.70 \times 0.80) = 1178 \text{ g/d}$$

البروتين الغذائي هو المصدر الوحيد من الأحماض الأمينية الأساسية للخنزير. مكونات بروتين لبن أنثى الخنزير من الأحماض الأمينية الأساسية كما هو موضح في جدول

26.16 مع الاحتياجات المبنية على معامل هضم مفترض وهو 0.8 وقيمة بيولوجية مفترضة نحو 0.70.

وتجمع الدلائل بأن مستويات بروتين عالية ينصح بها لأغذية أنثى الخنزير الحلابة قد تكون مطلوبة فقط بسبب جودة البروتين غير الكافية. ولقد تبين أن القيمة البيولوجية للشعير يمكن رفعها من حوالي 0.56 إلى 0.72 بواسطة تكملته بحوالي 20 جم من اللايسين لكل أنثى في اليوم. هذا في جملته يقصد به ويهدف لنفس القيمة 0.73 لأغذية الشعير ومسحوق السمك. وقد تم على ضوء هذه المعلومة اقتراح أن الأغذية المحتوية على مقدار ضئيل يصل 120 جم بروتين خام/كيلوجرام ربما تكون كافية لإنتاج اللبن، طالما تكون مستويات اللايسين كافية ولا يقل المأكول عن 5 كجم/يوم لأنثى الخنزير المرضعة لثمانية خنازير صغيرة.

ويوحي ذلك المستوى المنخفض من البروتين الغذائي بان الكفاءة الكلية لتحويل البروتين الغذائي إلى بروتين لبن نحو 0.63، والتي تعتبر على درجة عالية من المثالية.

جدول 26.16 الاحتياجات من الأحماض الأمينية لإنتاج اللبن في إناث الخنزير

الحمض الأميني	جم/كجم لبن	الاحتياج (جم/كجم لبن)
هستيدين	1.57	2.80

أيزوليوسين	2.34	4.18
ليوسين	4.88	8.71
لايسين	4.32	7.71
ميثايونين	0.99	1.77
ميثايونين + سيستين	1.88	3.36
فينايل الأنين	2.26	4.04
فينايل الأنين + تايروسين	4.82	8.61
ثريونين	2.37	4.23
فالين	3.05	5.45
تريبتوفان	0.75	1.34

الاحتياجات من العناصر المعدنية Mineral Requirements

لا يوجد دليل يقترح بأن معادن أخرى عدا الكالسيوم والفوسفور يستوجب توفرها في غذاء إناث الخنزير الحلابة بمستويات أعلى من تلك الضرورية للتناسل الطبيعي. وتشير تجارب الاتزان بأن الكفاءة الكلية للاستفادة من الكالسيوم والفوسفور لغرض الإدرار تكون حوالي 0.47 و 0.5 على التوالي. ويوضح الجدول 1.16 أن لبن أنثى الخنزير يحتوي 2.5 جم/كجم من الكالسيوم و 1.7 جم/كجم من الفوسفور. وسوف تفرز أنثى خنزير منتجة 10 كجم لبن لكل يوم 25 جم كالسيوم و 17 جم فوسفور. فقد إجباري (جم / 100 كجم وزن) قد يفترض على أنه 3.2 جم كالسيوم و 2 جم فوسفور، وبذلك فإن أنثى وزن 200 كجم (أنظر أسفل) سوف يكون لها الاحتياجات التالية:

(3.2 × 2 + 10 × 2.5) \ 0.47 = 66.8 جم كالسيوم/يوم.

(2 × 2 + 10 × 1.7) \ 0.5 = 42.0 جم فوسفور/يوم.

يجب أن تحتوي الوجبة المعطاة بمعدل 7.5 كجم/يوم على 8.9 جرام كالسيوم/كجم و 5.6 جرام فوسفور/كجم.

الاحتياجات إلى الفيتامينات Vitamin Requirements

معلومات قليلة متوفرة فيما يتعلق باحتياجات الإدرار من الفيتامينات في أنثى الخنزير، وتلك القيم المعروضة في جداول الملحق هي نفسها الخاصة بأنثى الخنزير الحامل. الافتراض المعمول هو أن المستويات التي تسمح بالتكاثر الطبيعي والحفظ تكون كافية للإدرار.

مراجع الفصل السادس عشر

1. Agricultural Research Council 1980 *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux.
2. Agricultural Research Council 1981 *The Nutrient Requirements of Pigs*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux.
3. Agricultural Research Council 1984 *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*, *Supplement No. 1* Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux.
4. Agricultural and Food Research Council 1992 *Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. 5, Nutrient Requirements of Ruminant Animals: Energy*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureax. (see also *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B*, **60:**729 – 804).
5. Agricultural and Food Research Council 1992 *Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. 9, Nutrient Requirements of Ruminant Animals: Protein*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureax. (see also *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B*, **62:**787 – 835).
6. Agricultural and Food Research Council 19?? *Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. ?*, *Nutrient Requirements of Pigs*:19??. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux. (see also *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B*, **60**: 383 – 406).
7. Falconer I R (ed) 1970 *Lactation*. London, Butterworths.
8. Morand-Fehr P (eds) 1991 *Goat Nutrition*. Wageningen, Pudoc.
9. Rook J A F and Thomas P C (eds) 1983 *Nutritional Physiology of Farm Animals*. London, Longman.

الفصل السابع عشر

المأكول الطوعي للغذاء

المأكول الطوعي للغذاء Voluntary Intake of Food

تركز الاهتمام في الفصول السابقة علي الطاقة واحتياجات حيوانات المزرعة من العناصر الغذائية للحفظ ولعمليات إنتاجية مختلفة. وثمة عامل إضافي مهم يجب أن يؤخذ في الاعتبار وهو كمية الغذاء التي يستطيع الحيوان أن يستهلكها في فترة زمنية محددة. فكلما كانت كمية الغذاء التي يستهلكها الحيوان أكثر، كلما كانت فرصة زيادة إنتاجه اليومي أكبر. ونظراً لتناقص تكلفة الحفظ بشكل تناسبي عندما ترفع الإنتاجية فإن زيادة الإنتاج المتحصل عليها بتناول أعلى في الغذاء تكون مصحوبة غالباً بزيادة في الكفاءة الكلية لعملية الإنتاج. ومن ناحية، أخرى توجد استثناءات معينة قبل التعميم، مثلاً فيما يتصل ببعض سلالات خنازير اللحم (Bacon pigs)، تؤدي الزيادة المفرطة في تناول الغذاء إلى ذبائح بدينة جداً والتي تكون غير مقبولة من قبل المستهلك وبالتالي غير مرغوبة تجارياً. وتعتبر التغذية نشاطاً معقداً وهي تتضمن تصرفات كثيرة كالبحث عن الغذاء، والتعرف على الغذاء والتحرك نحوه، تقييم حسي للغذاء ثم البدء في الأكل والتناول Ingestion. يهضم الغذاء في القناة الهضمية ثم تمتص العناصر الغذائية ويتم استقلابها (تمثيلها). وجميع هذه النشاطات والعمليات بإمكانها التأثير في المأكول من الغذاء على الأساس قصير الأجل. إضافة إلى ذلك، أنه من الضروري أن نعتبر لماذا يتم المحافظة على وزن الجسم في الحيوانات الناضجة ثابتاً تقريباً على مدى فترات طويلة من الزمن، حتى مع توفر الغذاء اختياريا (*ad libitum*). ولذلك فإن فكرة التحكم قصير الأجل وطويل الأجل يجب اعتبارها، الأولى

تتعلق بالبدء والتوقف في العلائق الفردية و تتعلق الأخيرة بالمحافظة على توازن الطاقة لفترة طويلة الأجل. بالرغم من الاعتقاد بأن العديد من أنظمة التحكم متشابه في جميع أنواع الحيوانات الزراعية، إلا أن هناك فروقاً مهمة بين الأجناس (Species) وهي تعتمد أساساً على تركيب ووظيفة قنواتها الهضمية.

يمكن تصور أن آليات التحكم في تناول الغذاء في حيوانات المزرعة تعمل تحت ثلاثة مستويات. عند المستوى الأيضي تركيزات العناصر الغذائية، المواد الناشئة عن الأيض "Metabolites" أو الهرمونات ربما تحفز الجهاز العصبي ليسبب البداية في التغذية أو التوقف عنها. عند مستوى الجهاز الهضمي، كميات المواد المعرضة للهضم "Digesta" قد تحدد ما إذا كان الحيوان يهضم غذاء أكثر أم لا وأخيراً تأثيرات خارجية مثل الاختلافات البيئية أو مدى سهولة هضم الغذاء فهي أيضا تؤثر في المأكول من الغذاء. الحيوانات ذوات المعدة البسيطة والتي تغذي على أغذية مركزة ومحمية من المظاهر البيئية الحادة، يكون التحكم أساساً عند المستوى الأيضي .

وكلما أصبحت الأغذية ليفية أكثر كلما تحول التحكم إلى الجهاز الهضمي، وفي المجترات التي ليست في حالة رعي، هذا هو النظام العامل المألوف. وفيما يتعلق بالمجترات التي ترعي، يفترض أن تكون العوامل البيئية مهمة أكثر، وقد تكون هي محددات المأكول. ويهتم الجزء الأول من هذا الفصل بالحيوانات وحيدة المعدة، والثاني بالمجترات (متضمناً حيوانات الرعي).

المأكول من الغذاء عند الحيوانات وحيدة المعدة

Food Intake in Monogastric animals

مراكز التحكم في الجهاز العصبي المركزي

يتم التحكم في التغذية في الثدييات والطيور بواسطة مراكز فيما تحت المهاد البصري Hypothalamus وهي تقع تحت المخ في الدماغ. ولقد اقترح أولاً بأن هناك مركزين للنشاط، أولها هو مركز التغذية (تحت المهاد البصري الجانبي Lateral Hypothalamus) والذي يجعل الحيوان يأكل الطعام ما لم يُثبط عن طريق الثاني، مركز الشبع " Staiety Center" في منطقة تحت المهاد البصري البطني الوسطى " Ventromedial Hypothalamus " والتي تستقبل إشارات من الجسم نتيجة استهلاك الغذاء. وبكل بساطة لقد أعتبر أن الحيوان سوف يستمر في الأكل إلا إذا استقبل إشارات ثبطت مركز التغذية. وهناك قليل من الشك في أن هذا أكثر تبسيطاً، على الرغم أن الهايبوثالامس لا تلعب أي دور مهم في تنظيم المأكول، يُعتقد الآن بأن مناطق أخرى في الجهاز العصبي المركزي تكون مضمنة أيضاً.

التنظيم قصير الأجل Short – term Regulation

نظريات الثبات الكيميائي Chemostatic Theories

إن تحرر العناصر الغذائية من الغذاء إلى القناة الهضمية، امتصاصها وعبورها عن طريق الوريد الفصلي إلى الكبد، ووجودها في الجهاز الدوري، توفر جميعها فرصاً للعناصر الغذائية لتبرز وجودها في مركز الشبع في الهايبوثالامس. ووفقاً لنظرية الثبات، فإن ارتفاع

تركيز بعض المواد الحرجة في هذه المراكز يرسل إشارة إلى الدماغ يؤدي إلى توقف الحيوان عن الأكل، وان هبوط التركيز يؤدي إلى بداية الحيوان في الأكل. تركزت الدراسات الأولية على تركيز الجلوكوز. وقد خفضت جرعات قليلة من الأنسولين تركيز الجلوكوز في الدم أدت إلى شعور الحيوان بالجوع وبالتالي البداية في الأكل. كما تم كذلك التعرف على أن جلوكوز الدم يرتفع بعد الوجبة ثم يهبط ببطء. لقد اقترح بأن مستقبلات الجلوكوز ربما تقع على الهايبوثالامس نفسها، تراقب أي من التركيز المطلق للجلوكوز في الدم أو الفرق في التركيز بين الدم الشرياني والوريدي. قامت دراسات حديثة أكثر بفحص مستقبلات موجودة على مقربة من نقطة منشأ الجلوكوز (وعناصر غذائية أخرى)، في القناة الهضمية والكبد وهي بإمكانها أن تثير استجابة أسرع لتناول الغذاء. بناءاً عليه فإن الجلوكوز الذي نفخ " Infused" في الأمعاء الدقيقة أو الجهاز الفصلي الكبدي (Portal hepatic system) يسبب أكبر انخفاض في المأكول مقارنة بالجلوكوز الذي وضع في الجهاز الدوري المحيطي السطحي (Peripheral Circulation). ولقد اتضح بأن الجلوكوز في الإثنى عشر يعمل على توليد إشارات يتم نقلها عصبياً وربما تسبب إعاقة تدفق المواد المعرضة للهضم Digesta من المعدة، وبالتالي خفض المأكول من الغذاء. وثمة طرق أخرى متوفرة محتملة للاتصال بين القناة الهضمية والدماغ عن طريق هرمون بيبتيدي Cholecystokinin ؛ وهذا يتم إفرازه إلى القناة الهضمية عندما تصل نواتج الهضم مثل الأحماض الأمينية والأحماض الدهنية إلى الإثنى عشر وهو معروف بتأثيره على الهايبوثالامس. ويعتقد بأن الجلوكوز وعناصر غذائية أخرى تتأكسد في الكبد وترسل إشارات عبر العصب المبهم والذي يصل أخيرا إلى الهايبوثالامس.

ويبدو أن التحكم قصير الأجل في المأكول في الطيور لا يتأثر بنفس المدى عن طريق الجلوكوز أو عناصر غذائية أخرى ويظهر أن هناك إشارات يتم استقبالها مباشرة من الحوصلة (Crop) كما سيتم شرحه لاحقاً.

نظرية التوازن الحراري Thermostatic Theory

تقترح النظرية بأن الحيوانات تأكل لتبقي دافئة وتوقف الأكل للحد من ارتفاع حرارة الجسم (Hyperthermia). وتنتج الحرارة أثناء هضم واستقلاب الغذاء ويعتبر أن هذا المقدار الزائد من الطاقة بإمكانه أن يوفر إحدى الإشارات المستخدمة في التنظيم قصير الأجل لتناول الغذاء.

لقد أثبت بأن هناك مستقبلات حرارية (Thermoreceptors)، حساسة لتغيرات الحرارة، موجودة في الجزء الأمامي من الهايبوثالامس وكذلك موزعة سطحياً في البشرة. وقد تم الحصول على بعض من الدعم لنظرية التوازن الحراري هذه من مشاهدات، لعدد من الأنواع بأن المأكول يزداد في البيئة البارد ويقل في البيئة الحارة.

التنظيم طويل الأجل Long – term regulation

إن المحافظة طويلة الأجل لوزن الجسم الثابت نسبياً مقرونة برغبة الحيوان للعودة لذلك الوزن فيما لو تم تعديله عن طريق الجوع أو التغذية القسرية، ويدل في مضمونه على أن هناك عاملاً هاماً يصاحب مخزون الطاقة ويعمل كإشارة للتنظيم طويل الأجل في تناول الغذاء. وثمة اقتراح يقول بأن هذا ربما يكون ترسب الدهن، و تميل الدراسات على الدواجن لدعم نظرية التنظيم هذه " *Lipostatic theory* " نظرية الاتزان الدهني.وقد أرغمت

مجموعة من الديكة الصغيرة " Cockerels " على أكل ضعف تناولها الطبيعي من الغذاء رسَّبت مقداراً من الدهن في البطن والكبد. عندما تم إيقاف التغذية القصرية، ومنعت عن الأكل لفترة 6 – 10 أيام، وباستئناف التغذية الاختيارية كان المأكول من الغذاء منخفضاً. ولقد كان واضحاً من هذه الدراسات بأن الطيور فقدت وزناً عند توقف التغذية القصرية وتناقص تركيز الدهن في النسيج إلى مستويات وصلت إلى الطبيعي بعد 23 يوماً. وبالرغم من أن السيترويدات الطبيعية ربما تكون مؤثرة في ذلك إلا أن الآلية الدقيقة التي استقبلت بها الهايبوثالامس إشارة توازن الدهن غير معروفة. ويبدو في الخنازير أن أياً من آليات التغذية الرجعية من دهن الجسم إلى مراكز التحكم في التغذية يكون حساساً كما هو في الدواجن والحيوانات الأخرى. إن عدم الحساسية هذا قد يكون ناشئاً أثناء الانتخاب الوراثي المبكر لزيادة الوزن السريعة، عندما لا تؤخذ الذبيحة السمينة جداً في الاعتبار كما هو الآن، فهي ميزة غير مرغوبة.

إن النزعة الطبيعية للخنزير الحديث للسمنة عادة يتم معادلتها عملياً عن طريق التغذية المحددة وكذلك بواسطة انتخاب خنازير بشهية أقل.

التقييم الحسّي Sensory appraisal

إن حواس النظر، الشم، اللمس والتذوق تلعب دوراً مهماً في تحفيز شهية الإنسان، وفي التأثير على كمية الغذاء المأكول عند أي وجبة. ولعل الافتراض العام هو أن الحيوانات تشاطرنا المواقف نفسها تجاه الغذاء، ولكن المفهوم العام حالياً أن الحواس تلعب دوراً أقل أهمية في المأكول من الغذاء في حيوانات المزرعة مقارنة بالإنسان.

إن مصطلح الاستساغة " Palatability " يستخدم لوصف درجة الاستعداد التي يتم فيها اختيار وأكل غذاء ما، ولكن الاستساغة وتناول الغذاء لم يكونا مرادفات (Synonymous). الاستساغة تتضمن حواس الشم، اللمس والتذوق فقط. معظم الحيوانات المستأنسة تبدي سلوك الاكتشاف بالشم Sniffing، ولكن يصعب قياس مدى استخدام حاسة الشم وضرورتها في تحديد الغذاء. تضاف بكثرة مواد عطرية مختلفة ومنها الشبت، الينسون، الكزبرة والحلبة إلى أغذية الحيوان. ولعل الاستنتاج هو أن الرائحة التي تنبع من هذه التوابل تجعل الغذاء جذَّاباً أكثر وبالتالي يزداد المأكول. وبالرغم من الزيادات المؤقتة التي قد تحدث في المأكول من الغذاء، فإن تأثيرات هذه الإضافات تتطلب توضيحاً وإقناعاً ببقائها لمدة أطول فيما يتعلق بالزيادة العامة في المأكول من الغذاء. بالمثل تبين معظم الحيوانات وعن طريق حاسّة التذوق تفضيلاً لأغذية معينة عندما يتم عرضها عن طريق الاختيار و لعل النموذج لذلك هو تفضيل الخنازير الصغيرة لمحاليل السكروز بدلاً من الماء. ولا تفرق الطيور بين محاليل السكريات الشائعة ولكنها تجد الزايلوز xylose غير مرغوب، ولن تتناول محاليل ملحية بتركيزات أكثر من نطاق قدرة جهازها الإخراجي. وبينت كل من الأجناس المدروسة اختلافات فردية كبيرة، مثلاً اختبرت خنازير صغيرة (من بطن واحدة) بمحاليل ساكارين من تركيزات مختلفة، وقد فضَّلت بعض من هذه الحيوانات مستويات عالية من المحُلّى sweetener بينما رفضته بعض منها.

عوامل فيسيولوجية Physiological Factors

بينت تجارب Adolph التقليدية 1947 بأنه عند تخفيف أغذية الجرذان بمواد خاملة

(inert) لإنتاج مدى واسع من تركيز الطاقة، كانت هذه الحيوانات قادرة على تنظيم كمية الغذاء المأكولة وبذلك بقي تناولها من الطاقة ثابتاً. إن فكرة "الحيوانات تأكل لغرض الطاقة" (animals eat for calories) اتضح أنها تطبق في الدواجن والحيوانات الزراعية غير المجترة الأخرى.

وطريقة استجابة الدواجن لأغذية مختلفة في محتوى الطاقة موضحة في الجدول 1.17، حيث تم تخفيف غذاء عادي يحتوي 8.95 ميجا جول طاقة إنتاجية (أو حوالي 13.2 ميجا جول طاقة أيضية) لكل كيلوجرام وذلك بزيادة نسب المحتوى المنخفض في الطاقة، قشور الشوفان (oat – hulls). ولعل الغذاء المخفف به تركيز طاقة حوالي نصف ما في الغذاء الأصلي وأقل كثيراً من المدى الذي تمت تجربته من قبل الدواجن بشكل طبيعي. واستجابت الدواجن بأكل نحو 25 % زيادة من الغذاء ولكن مع ذلك تناقص المأكول من الطاقة بما يصل إلى 29 %. عند زيادة محتوى الطاقة في الغذاء عن طريق إضافة مصدر طاقة مركز مثل الدهن، وتستجيب الدواجن بطريقة معاكسة، وفي هذه الحالة تأكل الدواجن أقل ولكن النقص في المأكول ربما يكون غير كافٍ للحد من ارتفاع المأكول من الطاقة. عندما تجري عملية مكثفة لتخفيف الغذاء بواسطة استخدام مواد منخفضة معامل الهضم، فقد يتم التغلب على تنظيم المأكول لأن قدرة القناة الهضمية تصبح عاملاً محدداً. ويبدو أن الحوصلة تكون معنية بالمأكول في الطيور نظراً لأن الطيور مزالة الحوصلة Cropectomized birds تأكل اقل من الطبيعي عندما يحدد زمن التغذية.

جدول 1.17 تأثير خفض محتوى الطاقة في الغذاء على المأكول من الغذاء والطاقة في الكتاكيت وعلى نموها.

(After Hill FW and Dansky LM 1954 *Poultry Sci* , 33 ,112)

	رقم الغذاء				
	1	2	3	4	5
محتوى الطاقة في الغذاء					
الطاقة الإنتاجية (ميجا جول/كجم)	**8.95**	**7.91**	**6.82**	**5.73**	**4.64**
الطاقة الأيضية (ميجا جول/كجم)	**13.18**	**11.59**	**10.21**	**8.91**	**7.45**
الطاقة الأيضية (% من الغذاء رقم 1)	**100**	**88**	**78**	**68**	**57**
أداء الكتاكيت حتى عمر 11 أسبوع (% من نتيجة الغذاء رقم 1)					
مجموع الغذاء المأكول	**100**	**101**	**113**	**117**	**125**
مجموع الطاقة الأيضية المأكولة	**100**	**90**	**88**	**80**	**71**
الزيادة في الوزن الحي	**100**	**99**	**102**	**98**	**98**
محتوى الدهن في الذبيحة عند عمر 11 أسبوع					
(% من المادة الجافة) (كتاكيت ذكور فقط)	**26.8**	**23.2**	**21.1**	**18.1**	**16.1**

من المعروف أن التضخم أو إدخال مواد خامدة في الحوصلة يسبب نقصاً في المأكول من الغذاء. وقد تم في الثدييات تحديد مستقبلات الشد أو الانتفاخ في المريء، المعدة، الإثنى عشر والأمعاء الدقيقة. ويزيد الانتفاخ في هذه المناطق من القناة النشاط في العصب المبهم (Vagus nerve) وفي مركز الشبع في الهايبوثالامس. وقد أجريت تجارب على الخنازير تشابه تلك الموضحة في الجدول 1.17 وبينت نفس الفكرة. تستطيع الخنازير في المدى المتوسط من تركيز الطاقة تعويض الاختلافات في التركيز، ولكن مع الأغذية منخفضة الطاقة (مثلاً غذاء يحتوي 9 ميجا جول طاقة مهضومة / كجم) يكون التعويض غير كامل

ويتناقص المأكول من الطاقة. عكس ما تقدم لو زاد محتوى الطاقة في الغذاء إلى 15 ميجا جول طاقة مهضومة / كجم عن طريق إضافة الدهن، فإن الخنازير لا تتمكن من خفض مأكولها من الغذاء بشكل يتناسب مع ذلك، ويزداد المأكول من الطاقة بالنسبة للخنازير، وكما هو الحال للدواجن لقد اقترح بأن المأكول من الطاقة في حالة أغذية منخفضة الطاقة يكون محدداً بواسطة انتفاخ القناة الهضمية. واقترح كذلك بأن الأغذية مرتفعة الطاقة تميل بأنها تؤكل بإفراط بسبب عدم قدرتها على توفير الحجم المالئ الكافي.

وتوحي العلاقة العامة بين المأكول من الغذاء والاحتياج إلى للطاقة بأنه مع زيادة الطاقة فإن المأكول يتغير مباشرة ليس بالوزن الحي ولكن بالوزن الأيضي (الوزن$^{0.75}$). وتبقي هذه العلاقة بشكل عام موجودة بالرغم من أن حدوث الاختلافات يعتمد على حالة الحيوان الفسيولوجية. مثلاً، وعادة يكون الإدرار مصحوباً بزيادة ملحوظة في المأكول من الغذاء، وفي الجرذ قد يصل المأكول من الغذاء عند قمة الإدرار حوالي ثلاثة أضعاف المأكول في حيوان غير مدر. أما في إناث الخنزير، فكلما كانت كمية الغذاء المقدمة أثناء الحمل أصغر، كلما كانت الكمية المستهلكة أثناء الإدرار أكبر. ولعل التقارير عن التغيرات في المأكول من الغذاء أثناء الحمل متضاربة، فهناك تقارير عديدة عن حدوث زيادة في المأكول مع بداية الحمل في الجرذان، لكن تقارير أخرى تقترح تغيراً قليلاً أو عدم وجود تغير.

ويبدو من المعقول أن نفترض زيادات التناول بالتمرين وقد وضحت الدراسات على الجرذان أن هناك علاقة خطية بين تناول الغذاء ومدة بقاء التمرين ومن ناحية أخرى توجد معلومات قليلة حول حيوانات المزرعة على هذا الموضوع .

النقص الغذائي Nutritional deficiencies

تعتمد استفادة الأنسجة من نواتج الهضم الممتصة على التوظيف الفعال للعديد من الإنزيمات وقرائن الإنزيمات لمسارات الأيض المختلفة، ويرجح أن نقص الأحماض الأمينية الأساسية (الضرورية)، الفيتامينات والمعادن يؤثر في المأكول من الغذاء. فنجد في الدواجن، أن النقص الشديد في الأحماض الأمينية الضرورية يخفض المأكول من الغذاء بينما النقص المعتدل والذي لا يكفي للتأثير في النمو بوضوح، يعمل على زيادة المأكول. عندما يُعطي الدجاج غذاء يحتوي تركيزات عالية من الكالسيوم (30 جم/كجم)، ويكون المأكول حوالي 25 % أكبر في أيام تكوين البيض مما في أيام عدم تكون البيض. لا يحدث هذا الاختلاف عندما تعطي أغذية منخفضة في الكالسيوم، حيث يقدم الكالسيوم مفصولاً في شكل حصى كلسي، ولذلك يبدو أن الدجاج البياض " يأكل لتوفير الكالسيوم eat for calcium". إن ما يختص بنقص عناصر معدنية صغرى وخاصة الكوبلت ، النحاس، الزنك والمنجنيز وكذلك فيتامينات مثل الريتينول " retinol " والكوليكالسيفيرول "cholecalciferol"، الثيامين و B_{12} وتأثيرها على الشهية قد تم بحثه في الفصول 5،6 .

التغذية الاختيارية Choice Feeding

إنّ لدى الحيوانات احتياجات غذائية دقيقة ولكن تحت الظروف الطبيعية تواجه أغذية مختلفة جداً لكي تختار منها، حيث البعض منها غير كافٍ غذائياً. الجرذان المنزلية والفئران معروفة بأنها تنظم المأكول من الغذاء حتى الشبع، طالما كانت خصائص الغذاء

تسمح بذلك، احتياجاتها للطاقة ، البروتين وعناصر غذائية معينة أخرى. الدراسات عن حيوانات المزرعة تركز فيها الاهتمام على الدواجن،

و بينت بأن الدجاج المنزلي لديه شهية معينة للكالسيوم ، الفوسفور ، الزنك ، الثيامين وأحماض أمينية متنوعة. إن التطبيق التجاري لقدرة الدواجن على اختيار الأغذية لأجل محتوياتها الغذائية تستفيد من استعمال حبوب الغلال كاملة (مثلاً القمح الكامل) والغذاء المتوازن الذي يحتوي مستويات عالية نسبياً من الأحماض الأمينية، الفيتامينات والعناصر المعدنية. ولذلك تتمكن الطيور من موازنة نسبة الطاقة إلى البروتين لغذائها الكلي. تركب الأغذية المتوازنة بشرط توقع أن تؤكل الأغذية الاثنين بنسب متساوية، ونظراً لتجنب تكاليف الطحن، الخلط والتحبيب " pelleting " للحبوب الكاملة فإنه بالإمكان خفض التكاليف الكلية للتغذية.

لقد تم استخدام نظام التغذية الاختيارية بنجاح في قطعان كبيرة من دجاج الرومي النامي وفي أصول بدائل البياض. وقد تم توضيح قدرة مماثلة على اختيار غذاء متوازن من الأغذية في كتاكيت اللحم وفي الدجاج البياض (الناضج)، غير أن البعض من هذه الدراسات أعطت نتائج متباينة. أن النظرية التي تقول أن الدواجن لها نظام تحكم يمكنها من اختيار كميات مناسبة من أغذية مختلفة لسد احتياجاتها الغذائية يمكن اعتبارها مبسطة جداً ويرجح بأن عوامل أخرى كالشكل الطبيعي للمكونات وتركيب الغذاء
و موقع المعلف والخبرة السابقة تتدخل في ذلك.

سجّل T.M. Evvard في عام 1915 في الولايات المتحدة الأمريكية بأن الخنازير كانت قادرة على اختيار غذاء مناسب عندما أعطيت فرصة في أغذية متعددة وأنها بتقدمها في النمو غيرت نسب الغذاء المنتقاة للمحافظة على توازن مناسب بين البروتين والطاقة. فالخنازير محتاجة لفترة تتآلف فيها مع الأغذية لكي تصبح قادرة على مواكبة بعض خصائصها مع تأثيراتها الغذائية. وأكدت الأبحاث الحديثة قدرة الخنازير على انتقاء غذاء ذي محتوى مناسب من البروتين عندما أعطيت الخيار بين أزواج من أغذية مختلفة في محتوى البروتين. ويوضح الجدول 2.17 بأن تقديم أزواج من الأغذية تتراوح في محتوى البروتين من 125 إلى 267 جم/كجم، فإن أربع مجموعات من أصل ست مجموعات من الخنازير (مجموعات 2 – 5) كانت قادرة على أن تختار الحصص التي تعطي تركيز بروتين مناسب لأغذيتها العامة وهو حوالي 200 جم/كجم. قدمت للمجموعة الأولى أغذية كانت كلاهما منخفضة جداً في البروتين لتسمح بالاختيار الصحيح و أعطيت المجموعة الأخيرة أغذية كلاها بها تركيزات بروتين أعلى من المستوى المرغوب. وقد أوضحت تجارب مرتبطة بأن الخنازير تحت التغذية الاختيارية تخفض محتوى بروتين غذائها المختار كلما انخفضت احتياجاتها من البروتين وبزيادة في الوزن الحي. علاوة على ذلك فإن الخنازير التي لديها قدرة وراثية على زيادة أكثر أنسجة لحمية (ذكور غير مخصية لسلالات انتخبت لإنتاج اللحم) تختار أغذية أعلى في محتوى البروتين.

جدول 2.17 اختيار الغذاء عند صغار الخنازير التي أعطيت فرصة بين أغذية مختلفة في محتوى البروتين الخام .

(From the data of Kyriazakis I , Emmans GC and Whittemore CT 1990 *Anim. Prod.* , 51 , 189)

رقم المجموعة	محتوى البروتين جم/كجم غذاء 1	2	المأكول من الغذاء (جم/يوم)	نسب الأغذية 1 و 2	محتوى البروتين في مجمل الغذاء (جم/كجم)
1	125	174	1106	71 : 29	160
2	125	213	1013	94 : 6	208
3	125	267	1055	56 : 44	204
4	174	213	1028	69 : 31	202
5	174	267	1076	34 : 66	205
6	213	267	1054	2 : 98	218

المأكول من الغذاء عند المجترات Food Intake In Ruminants

بالرغم من أن المأكول من الغذاء عند المجترات يمكن التحكم فيه عند المستوى الأيضي، فإنه يرجح أن الإشارات تكون مختلفة عَّما في الحيوانات وحيدة المعدة. إن كمية الجلوكوز الممتصة من القناة الهضمية للمجترات تكون صغيرة نسبياً ومستويات الجلوكوز في الدم تبين علاقة بسيطة مع سلوك التغذية، و بناء عليه يبدو من غير المرجح أن آلية توازن الجلوكوز للمأكول "glucostatic mechanism of intake" بالإمكان تطبيقها على المجترات. فقد يكون الأكثر ترجيحاً أن آلية التوازن الكيميائي تتضمن الأحماض الدهنية الطيارة الممتصة من الكرش. ولقد تبين أن حقنات " infusions " من الخلات والبروبيونيت إلى داخل الكرش خفضت المأكول من المركزات من قبل المجترات، ولقد افترض بأن مستقبلات للخلات و والبروبيونيت توجد على الجانب المجوف من منطقة الكرش –

الشبكية " reticulo -rumen ". ويبدو أن البيوتيريت له تأثير أقل من تأثير الخلات والبروبيونيت على المأكول، ويحتمل أن ذلك بسبب تمثيل البيوتيريت طبيعياً إلى acetoacetate و B-hydroxybutyrate عن طريق الأغشية الطلائية بالكرش. فيما يتعلق بالأغذية التي تتكون أساساً من أعلاف مالئة لم يكن لحقنات (infusions) الأحماض الدهنية الطيارة تأثيرات محددة على المأكول. وكما ذكر سابقاً، ففي المجترات على مثل تلك الأغذية، يظهر أن التحكم في المأكول يتم ممارسته على مستوى الجهاز الهضمي، ويكون لخصائص الغذاء تأثير مهم علي المأكول.

خصائص الغذاء التي تحدد المأكول

Food characteristics that determine intake

تكيفت المجترات على الاستفادة بما قد يسمى أغذية مالئة Bulky` Foods ` ، ولكن برغم ذلك تجد صعوبة في معاملة تلك الأغذية. إن الاجترار والاختمار عمليات بطيئة نسبياً، وقد تبقي الأغذية الليفية زمناً طويلاً في القناة الهضمية لكي تستخلص منها مكوناتها المهضومة، لو أن الأغذية وبقاياها غير المهضومة احتجزت في القناة الهضمية فإن إنتاج الحيوان وبالتالي مأكوله اليومي سوف يقل. ولعل الاعتبار العام هو أن المأكول محدد بواسطة سعة الكرش، وان توسع وانتفاخ المستقبلات في جدار الكرش تعطي إشارة الامتلاء (Fill) إلى الدماغ، ولكن الذي يشكل الحد الأقصى – وبالتالي الحد الحرج – لامتلاء الكرش غير محدد. المفهوم العام أن الأغذية المالئة الضخمة مثل الدريس والتبن سوف تملأ الكرش بدرجة أكبر من المركزات قد حصلت على بعض التأييد، بالرغم من أنها بعد أن

تُضغ تكون الأغذية الضخمة ليست كمالئة كما ولو أنها في المعلف. فكرة أخرى لامتلاء الكرش وهي أن الحيوان يأكل ليحافظ علي كمية كافية من المادة الجافة في الكرش؛ أيضاً يوجد دليل تجريبي على هذا، بالرغم من أن هناك بعض الأغذية (مثل بعض أنواع السيلاج) لا تحفز الامتلاء الأكبر من المادة الجافة كما في أغذية أخرى. هناك عدم تأكيد حول مساهمة الماء في امتلاء الكرش. إن البالونات المملوءة بالماء التي وضعت في الكرش والتي خفَّضت حجمها الفعَّال، سوف تقلل المأكول من الغذاء ولكن الماء المضاف إلى الغذاء ليس له هذا التأثير. ومن ناحية أخرى، يوجد دليل أن الأغذية وعلى وجه الخصوص ذوات محتوي عال (مثلا 900 جم/كجم) من الماء المرتبط داخل الأنسجة النباتية يحفز تناول مادة جافة أقل من أغذية ذوات محتوى مائي أقل.

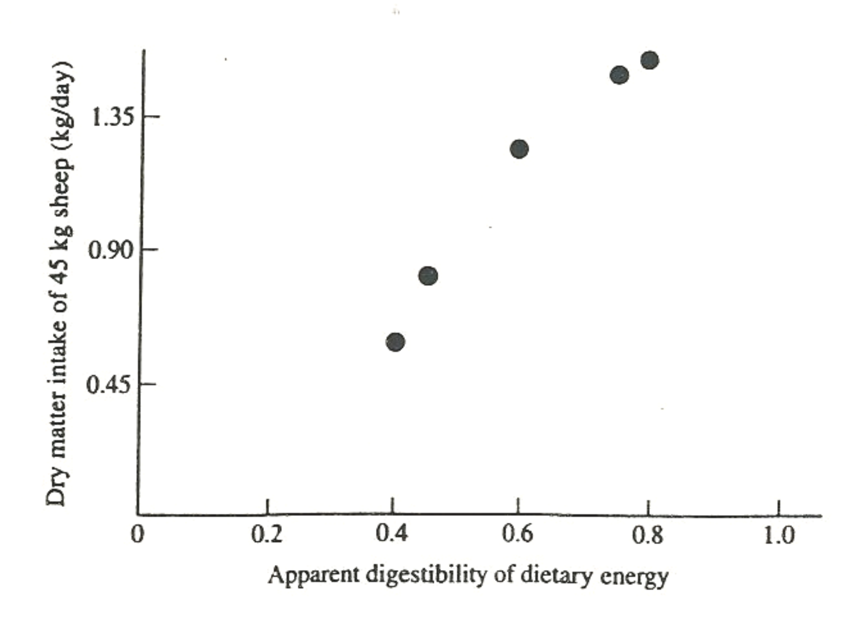
ولقد عرف منذ مدة وجود علاقة إيجابية في المجترات وذلك بين معامل هضم الأغذية ومأكولها. والمثال على هذه العلاقة موضح في شكل 1.17 والذي تم استنتاجه من تجارب غذيت فيها أغنام حتى الشهية على أعلاف مالئة مختلفة كنوع وحيد من الغذاء. وكان المأكول أكثر من الضعف وذلك بزيادة معامل هضم الطاقة من 0.4 (دريس الشوفان ؛ النقطة الأقل في الرسم البياني) إلى 0.8 (عشب مجفف اصطناعي ؛ النقطة الأعلى).

إن مدي معامل هضم كالذي في شكل 1.17 يمكن أيضا تحديده عن طريق أخذ علف مالئ وحيد وتكملته بنسب متزايدة من مركزات مهضومة بشكل كبير و توجد في هذه الحالات أيضا علاقة إيجابية بين المأكول ومعامل الهضم في المجترات (والذي يغاير العلاقة السلبية

الموضحة للأنواع وحيدة المعدة في جدول 1.17). إن تأثير إضافة المكمل المركز إلى العلف المالئ يعتمد على معامل هضم ذلك العلف المالئ. لو أن معامل هضمه منخفض (مثلاً تبن حبوب الغلال بمعامل هضم المادة الجافة نحو 0.4) فإن مجمل المأكول يزداد أكثر مما لو كان معامل هضمه مرتفعاً (مثلا عشب غض أو يانع معامل هضمه 0.8). بوضع هذه الفكرة بطريقة أخرى، المركز المضاف إلى علف مالئ معامل هضمه منخفض يؤكل إضافة إلى العلف المالئ ولكن عند إضافته إلى علف مالئ معامل هضمه مرتفع يميل إلى إحلال العلف المالئ.

إن فحص العلاقات من النوع المبين في شكل 1.17 قد وضَّح أن المأكول مرتبط حقيقة وبشكل وثيق مع معدَّل هضم الغذاء أكثر مما هو مع معامل الهضم بذاته، بالرغم من أن المقاييس الاثنان الأخيرة مرتبطة عموماً كل واحد مع الآخر. بمعنى آخر الأغذية المهضومة سريعاً وكذلك معامل هضمها مرتفع، تحفز مأكولاً أعلى.

و يعني معدل الهضم الأسرع، تفريغ أسرع للقناة الهضمية ويعني حيزاً أكثر يصبح متاحاً للوجبة التالية.



شكل 1.17 استهلاك الغذاء ومعامل الهضم في أغنام غذيت على أعلاف مالئة

(After Blaxter KL , Wainman FW and Wilson RS 1961 *Animal Prod.* , 3 , 51.)

إنّ المكون الكيميائي للأغذية والذي يحدد معدل الهضم هو ألياف المنظف المتعادل (NDF ; neutral detergent fibre)، وهو بطبيعته مقياس محتوى جدار الخلية؛ ولذلك فهناك علاقة سلبية بين محتوى NDF في الأغذية والمعدل الذي تُهضم به.

إن أهمية العلاقات التي تم وصفها فيما ذكر تكمن في أن الأغذية المتساوية في معامل الهضم ولكنها تختلف في محتواها من (NDF) أو جدار الخلية سوف تحفز مقادير مختلفة من المأكول. ومثال ذلك متوفر من عائلات من نباتات المرعى، أعشاب وبقوليات.

تحتوي البقوليات عند معامل هضم متساوي، جدار خلية أقل (بالتالي محتوي خلية أكثر) وهي تستهلك بكميات تصل حوالي 20 % أعلى من الأعشاب.

بالرغم من أن معدل الهضم والمأكول تكون مرتبطة مع تركيز أغلفة الخلية في أغذية المجترات، فإن الشكل الطبيعي لأغلفة الخلية يؤثر أيضا في المأكول. إن الطحن الميكانيكي للأعلاف الخشنة يحطم التنظيمات التركيبية في أغلفة الخلية بشكل جزئي، وبذلك يعجل تفككها في الكرش ويزيد المأكول. وهذا التأثير موضح في الجدول 3.17، والذي يبين أيضا أن الزيادة في المأكول بسبب الطحن والتحبيب " Pelleting " تحققت من نقص معامل الهضم. و تعبر الحبيبات الناعمة الناتجة عند طحن الأعلاف الخشنة سريعاً خارج الكرش ، تاركة حيزاً لغذاء أكثر ولكن تتيح لبعض المواد المهضومة أن تمر غير مهضومة.

وسنرى فيما بعد (الفصل 20) أن المعاملات الكيميائية للعلف والتي تكسر تركيب غلاف الخلية تسبب زيادات كبيرة في المأكول.

مثال آخر عن تأثير تركيب غلاف الخلية يأتي من مقارنة المأكول من أوراق أو سوق نباتات المرعى. بالرغم من أن هذين المكونين متساويان في معامل الهضم، إلا أن غلاف الخلية في الأوراق ينكسر ببساطة أكثر، ولذلك فإن الحيوانات التي أعطيت أوراقاً أكلت حوالي 40 % مادة جافة في اليوم أكثر من التي قدمت لها السوق.

جدول **3.17** طحن وتحبيب أغذية مبنية على علف مالئ وتأثيره على معامل الهضم والمأكول من قبل الأغنام.

(From Greenhalgh J.F.D and Reid GW 1973 *Anim. Prod.*, 16 , 223)

القياسات	نوع الحيوان	شكل العلف	المالئ	نسبة الفرق
		طويل	محبب	
المأكول	أغنام	**56.8**	**82.4**	**45 +**
جم/كجم وزن$^{0.75}$/يوم	أبقار	**81.8**	**90.7**	**11 +**
معامل الهضم	أغنام	**0.672**	**0.586**	**13 -**
	أبقار	**0.699**	**0.569**	**19 -**

a: الأغذية كانت عشب مجفف ، دريس Barn مجفف ومخلوط من 60 % دريس و 40 % شعير. في كل غذاء كان العلف المالئ إما مطحون ومحبب أو يترك بدون معامله (طويل).

إن نقص العناصر الغذائية الذي يقلل أنشطة الكائنات الدقيقة في الكرش يكون مسئولاً عن خفض المأكول من الغذاء. ولعل الأكثر شيوعاً هو نقص البروتين أو النيتروجين، والذي ربما يتم تصحيحه عن طريق الإضافات ببعض البروتين غير المتحلل أو حتى اليوريا. ومن ناحية أخرى، يبدو أن مكملات البروتين لمجترات أعطيت أعلافاً منخفضة البروتين بأنه يعمل في أنسجة الحيوان مثلما يعمل في الكرش، لأن الإضافات المعطاة ما بعد الكرش (مثلاً في تجارب عن طريق ناسورة المنفحة abomasal fistula) أدت كذلك إلى تحسين المأكول من الغذاء. وثمة عناصر غذائية أخرى تكون مسئولة عن تحديد المأكول من الغذاء في المجترات هي الكبريت، الفوسفور، الصوديوم والكوبلت.

وهناك بعض الأغذية تؤكل بكميات أقل مما هو متوقع من معامل هضمها أو محتوى غلاف الخلية بها. وتشمل هذه بعض أنواع السيلاج وخاصة ذوات المحتوى المرتفع من أحماض التخمر أو تلك غير المتخمرة بشكل جيد ومن ثم لها محتوى عالٍ من الأمونيا (انظر الفصل 19). وربما يُشمل الشكل الطبيعي للغذاء أيضاً، طالما التقطيع الناعم للسيلاج – أو للأعشاب التي أُعِد منها السيلاج– سوف يزيد المأكول، ربما بسبب أنه يحول دون تكوين فرشة كثيفة من المادة الليفية في الكرش. وتكون الأغنام حساسة إلى السيلاج أكثر من الأبقار، وتستجيب أكثر لتلقِّي أغذيتها (ربما فيها السيلاج) مقطعه أو مطحونة.

قد تصنّف أيضاً الأغذية التي مأكولها أقل من المتوقع على أنها "غير لذيذة المذاق" unpalatable. وكما نُوقش سابقاً، فإن نظرية المذاق لا تُعرَّف بسهولة، ولكن هناك بعض من الدليل، تم الحصول عليه فيما يتعلق بالأعلاف المالئة منخفضة الجودة، بأنه في حالة وضع بعض الغذاء في الكرش (عن طريق ناسورة)، فإن الاستهلاك بواسطة الفم لا يتناقص نسبياً، وبناء عليه يهضم الحيوان أكثر مما لو استهلك طوعيا. مع ذلك فعلى العموم لا يعتقد بأن المذاق هو العامل المهم المحدد للمأكول، إلا في حالة يكون الغذاء محمياً ضد الاستهلاك (مثلاً بواسطة الأشواك Spines) أو ملوثاً بطريقة ما (مثلاً بواسطة الفضلات، excreta).

عوامل حيوانية مؤثرة في المأكول عند المجترات

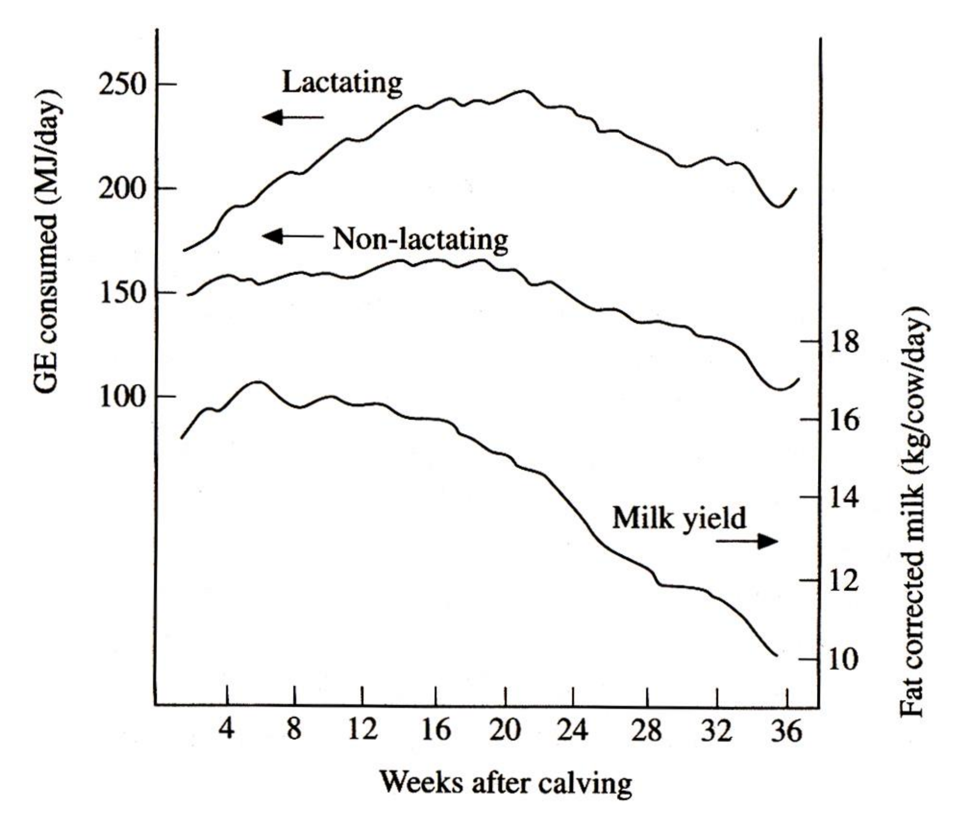
Animal factors affecting intake in ruminants

عندما تكون سعة الكرش عامل حرج في تحديد المأكول من الغذاء عند المجترات، عليه فإن الحالات التي تغير في العلاقة بين حجم الكرش وبين حجم الحيوان كاملاً يرجح أنها تؤثر في المأكول. عند نمو نوع ما من المجترات فإن تناوله للغذاء يتبع وبشكل نسبي تقريباً الوزن الأيضي للجسم ($W^{0.75}$) المشار إليه في البداية. ومع ذلك فإن الأبقار لها مأكول أكثر لوحدة الوزن الأيضي للجسم مقارنة بالأغنام؛ مثلاً عجل مخصي نامي (300 كجم) على غذاء يحتوي 11 ميجا جول طاقة أيضية / كجم مادة جافة سوف يستهلك حوالي 90 جم/كجم وزن$^{0.75}$ في اليوم (6.3 كجم مادة جافة لكل حيوان في اليوم) بينما حمل نامي (40 كجم) سوف يستهلك 60 جم فقط من المادة الجافة لكل كجم$^{0.75}$ في اليوم (0.96 كجم لكل حيوان). ويبدو أن المأكول مرتبط مع إنتاج حرارة الصوم، والتي بدورها مرتبطة بالوزن الأيضي للجسم (انظر الفصل 14) ولكنها تكون أصغر لكل وحدة من الوزن الأيضي للجسم في الأغنام عنها في الأبقار. وعندما تصبح الحيوانات بدينة بشكل مفرط، يميل مأكولها إلى الاستقرار أو بمعنى أخر لا يزداد كلما استمر وزن الجسم في الزيادة. وقد يكون هذا نتيجة أن ترسبات الدهن البطنية تقلل حجم الكرش، ولكنه ربما يكون تأثيراً أيضياً (يعني قصور التوازن الدهني للمأكول). عكس ذلك ففي الحيوانات التي بها لحم أكثر(very lean) يميل التناول لكل وحدة من الوزن الأيضي للجسم إلى الارتفاع. ويُلاحظ هذا التأثير عند حيوانات أظهرت نمواً تعويضياً بعد فترة من تحديد الغذاء؛ ويُلاحظ

كذلك في المجترات خلال النقص المزمن في الغذاء، كما في بعض الأقطار النامية حيث تظهر الحيوانات وكأنها مكونة من جلد وعظم تحصر بداخلها كرش كبيرة.

وفي الحيوانات الحاملة، فإن اثنين من التأثيرات العكسية تؤثر في المأكول. تسبب الحاجة المتزايدة من العناصر الغذائية للنمو الجنيني زيادة المأكول. وينخفض الحجم الفعَّال للتجويف البطني في المراحل المتأخرة من الحمل وذلك كلما ازداد الجنين في الحجم، وهكذا يكون الحيز المتاح لتمدد الكرش أثناء التغذية. ولعل النتيجة هي انخفاض المأكول وخاصة لو كان الغذاء يسوده علف مالئ. إن زيادة المأكول في المجترات مع بداية الإدرار معروف جيداً، هذه الزيادة هي فسيولوجية في المنشأ بالرغم من وجود تأثير طبيعي ناتج من انخفاض ترسبات الدهن في التجويف البطني.

وهناك تباطؤ ملحوظ في استجابة المأكول من الغذاء مع زيادة الطلب على الطاقة من قبل الإدرار. وتفقد بقرة اللبن في بداية الإدرار وزناً يتم إحلاله في المرحلة المتأخرة من الإدرار عند انخفاض إنتاج اللبن بينما يظل المأكول من المادة الجافة مرتفعاً. وهذه التغيرات مبينة في شكل 2.17 لتوائم حلابة وغير حلابة من أبقار الجيرسي المهجنة غذيت حصرياً على عشب مرعى طازج طوال مدة 36 أسبوعاً. وقد المأكول من الطاقة الكلية من قبل الأبقار الحلابة كان حوالي 50 % أعلى مما هو في الحيوانات غير الحلابة.



شكل 2.17 المأكول من الطاقة الكلية وتغيرات إنتاج اللبن في أبقار حلابة وغير حلابة

(After Hutton J B 1963 *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* , 23, .39.)

عوامل بيئية مؤثرة في الغذاء المأكول عند المجترات

Environmental Factors affecting the food intake of ruminants

مجترات الرعي **Garzing ruminants**

إن المأكول عند المجترات في مواطنها الطبيعية (مثلاً في المرعى) لا يتأثر فقط

بالتكوين الكيميائي ومعامل الهضم (أو معدّل الهضم) لأعشاب المرعى، ولكنه يتأثر كذلك بتركيبه الطبيعي وتوزيعه. وعلى حيوان الرعي أن يكون قادراً على جمع (harvest) أعشاب كافية لسد حاجاته بدون فقد غير ضروري للطاقة. ويتحدد مأكوله بواسطة ثلاثة عوامل، حجم القضمة bite (كمية المادة الجافة المجموعة في كل قضمة)، معدّل القضم (عدد القضمات في الدقيقة) وزمن الرعي.

فمثلاً بقرة لبن في الرعي (وزنها 600 كجم) لديها أعلى حجم قضمة نحو 0.6 جم مادة جافة، ترعى بمعدل 60 قضمة في الدقيقة وبذلك تجمع نحو 36 جم مادة جافة لكل دقيقة أو 2.16 كجم / ساعة. لتحقيق مأكول مناسب نحو 16 كجم مادة جافة في اليوم فهي بذلك ستحتاج للرعي مدة $\frac{16}{2.16}$ = 7.4 ساعة في اليوم.

وعادة ترعى الأبقار لمدة ثمان ساعات في اليوم، ولكن في بعض الأحيان ما مقداره 10 ساعات في اليوم. ويجب على البقرة في هذه الحالة أن تكون قادرة على تحقيق المأكول الضروري في زمن الرعي في نطاق مدة الثمان ساعات. يجب أن تكون الأعشاب موزعة بشكل مناسب لكي تحقق البقرة أعلى حجم قضمة ومعدّل قضم. وعموماً فإن المروج الكثيفة القصيرة نسبياً (12 – 15 سم) تتيح حجم قضم أعلى للأبقار. وتحدد النباتات الطويلة الضعيفة مثل العديد من الأعشاب الاستوائية حجم القضمة لأن الحيوان غير قادر على الحصول على ملء الفم " mouthful " من العشب في كل قضمة. كثافة نباتية منخفضة (مثلاً أقل من 1500 كجم مادة جافة / هكتار للأغنام) هي أيضاً عامل تحديد وربما يتفاقم الأمر و يزداد خطورة برغبة الحيوان في أن يرعى اختيارياً.

وتميل الحيوانات إلى تفضيل ورقة سريعة الهضم عن ساق بطئ الهضم، وكذلك تفضل المواد الخضراء عن الميتة. ربما تُرفض بعض النباتات بسبب كونها غير لذيذة المذاق " unpalatable " بواسطة أشواق وقائية أو عن طريق التلوث بالفضلات. في بيئة الرعي الجيدة وبوجود مروج قصيرة كثيفة لأعشاب مهضومة على نحو عالٍ، سوف تستهلك المجترات مادة جافة مقدارها كما لو قدّم لها الغذاء في معلف، ولكن في البيئات الأكثر صعوبة فهي تخفق في تحقيق المأكول من الغذاء الذي تكون قادرة على هضمه وتمثيله.

عوامل بيئية أخرى Other environmental Factors

تؤثر درجة الحرارة البيئية في المأكول عند المجترات كما هو الحال في الأنواع وحيدة المعدة. ويزداد المأكول عند درجات حرارة تحت منطقة التعادل الحراري، وعند درجات حرارة فوق منطقة التعادل الحراري يتناقص المأكول. المجترات المغذّاة جيداً لها منطقة تعادل حراري واسعة ممتدة إلى درجات الحرارة الحرجة المنخفضة عند الحد الأدنى (أنظر جدول 4.14). ومن ناحية ثانية، عند الحد الأدنى الأعلى (يعني في المناخ الحار) فإن درجات الحرارة قد تضع (exert) تأثيراً قوياً على المأكول، وخاصة في الحيوانات المنتجة أكثر وذوات طلب عالٍ على العناصر الغذائية. ولقد تم تقييم أن المأكول مثلاً، في حالة سلالات أبقار المنطقة المعتدلة (*Bos taurus*) يهبط بحوالي 2 % لكل ارتفاع درجة مئوية واحدة (1 ^{o} م) في متوسط درجة الحرارة اليومية أعلى من 25 ^{o} م.

ميزة أخرى للبيئة ولها تأثير على المأكول هي طول النهار. ويكون هذا التأثير أكثر وضوحاً في الأيل (الغزال deer)، والذي يقلل مأكوله من الغذاء بشكل حاد جداً كلما

تناقص طول النهار؛ عندما تتزامن الأيام القصيرة مع نقص في الغذاء و يعتبر هذا الفعل آلية بقاء ليضمن أن مصادر الغذاء المحدودة تبقي خلال الفترة الحرجة. وتخفض الأغنام أيضا مأكولها كلما أصبحت فترات النهار اقصر، ولكن على نطاق أقل كثيراً مما في الأيْل (الغزال). ويبدو أن الأبقار لا تتأثر بطول النهار. وقد تقلل الاضطرابات الصحية (ill – health) التناول في المجترات. متناقض مع الرأي الشائع فإن كثرة الطفيليات في القناة الهضمية تميل إلى خفض المأكول، وهذا محتمل انه بسبب أن التداخل مع الوظيفة الهاضمة يهيمن على أي حافز ينشأ من الانخفاض في امتصاص العناصر الغذائية. كما أن الإصابة بالطفيليات الخارجية كالقراد مثلاً هي أيضا تقلل المأكول.

التنبؤ بالمأكول من الغذاء Prediction of Food intake

كثيراً ما يكون ضرورياً أن تكون قادراً على التنبؤ بالمأكول في كل من الأنواع وحيدة المعدة و المجترات. وتُغذَّي الحيوانات عادة حسب الشهية، وليس من المحتمل التنبؤ بأدائها عن طريق استخدام المقاييس الغذائية بدون تقدير المأكول. ويكون التنبؤ بسيط نسبياً بالنسبة للخنازير والدواجن، لكونه يعتمد أساساً على خصائص الحيوان المشمول (لكنه قد يصبح أكثر تعقيداً في الحيوانات وحيدة المعدة المغذَّاة على أغذية ليفية). ويكون التنبؤ أكثر صعوبة في المجترات لكون العديد من المتغيرات الغذائية يجب أن تؤخذ في الاعتبار.

يوجد قياس تقريبي " role of thumb " بالنسبة للتنبؤات التقديرية للمأكول. ولذلك فإن المأكول اليومي من المادة الجافة لأبقار اللحم كثيراً ما يتم افتراضه بحوالي

22 جم/كجم وزن حي، بينما يكون مثيله لأبقار اللبن أعلى، نحو حوالي 28 جم/كجم وزن حي في بداية الإدرار وحوالي 32 جم/كجم عند قمة المأكول (أنظر شكل 2.17). يمكن استخدام مثال عن معادلات التنبؤ للمأكول مع مقاييس التغذية و توفرت هذه من اللجنة الفنية لمجلس البحوث الزراعية بالمملكة المتحدة (The UK Agricultural Research Council's Technical Committee on Responses)، والتي رتّبت سلسلة من المعادلات للتنبؤ بالمأكول من سيلاج العشب بواسطة أبقار (لبن ولحم) غذيت على سيلاج ومركزات، و فيما يلي مثال لمعادلات استنتجت لأبقار اللحم

$$SDMI = 24.96 - 0.5397\ CDMI + 0.1080\ SDM - 0.0264\ AN + 0.0458\ DOMD$$

حيث :

SDMI = المأكول من المادة الجافة للسيلاج (جم/كجم وزن $^{0.75}$ في اليوم) .

CDMI = المأكول من المادة الجافة للمركزات (جم/كجم وزن $^{0.75}$ في اليوم).

SDM = محتوى المادة الجافة في السيلاج (جم/كجم).

AN = محتوى النيتروجين في أمونيا السيلاج (جم/كجم من النيتروجين الكلي).

DOMD = المادة العضوية المهضومة في المادة الجافة للسيلاج (جم/كجم).

لذلك فإن هذه المعادلة تقدّر أن المأكول من المادة الجافة للسيلاج سوف ينخفض بنحو 0.54 جم مقابل استهلاك كل جم واحد من المادة الجافة للمركزات.

وبالإضافة إلى ذلك فإن المأكول من السيلاج مرتبط بثلاثة مقاييس للجودة، اثنان إيجابية (محتوى المادة الجافة ومحتوى المادة العضوية المهضومة) وواحد سلبي (نيتروجين الأمونيا كنسبة من محتوى النيتروجين الكلي). وقد طُبّقت مقاييس أخرى لجودة السيلاج في المعادلات كانت محتوى النيتروجين، محتوى حمض البيوتريك وقوة تركيز أيونات الهيدروجين (pH). تضمنت معدلات أبقار اللبن إنتاج اللبن ومكونات اللبن وكذلك أسبوع الإدرار كعوامل تنبؤ. وبالرغم من هذه الدرجة من التعقيد، فإن معظم الدقة في المعادلات تقدر بحوالي 60 – 70 % فقط من اختلافات التنبؤ، ولهذا فإن دقتها كانت محدودة.

لقد تبنت اللجنة الاسترالية القائمة على الزراعة نموذجاً مبنياً على الحاسوب (يدعى GRAZFEED) للتنبؤ بالمأكول لمجترات الرعي. وتشمل عوامل الحيوان في هذا النموذج الوزن الحالي للحيوان منسوباً إلى ما يعرف بالوزن المرجعي القياسي، (Standard Reference Weight ; SRW)، حالة الجسم (يعني البدانة) ومرحلة الإدرار، أما عوامل الغذاء فتشمل معامل هضم العشب و أي أغذية مكملة وفيما يخص العوامل البيئية في النموذج فهي خصائص المرعى التي تحدد مكونات المرج (Sward) وهناك أيضا تعديلات لعوامل مُناخية. التعبير عن الوزن الحي كنسبة من وزنه المرجعي القياسي لها تأثير كبير على المأكول المتنبأ به. فمثلاً ثور مخصي وزنه 400 كجم وصل وزنه القياسي المرجعي (SRW) (400 كجم) تم التنبؤ بأنه يأكل 5.9 كجم من المادة الجافة في اليوم من مرعى جيد النوعية (معامل هضم المادة الجافة 0.7)، بينما حيوان وزنه 400 كجم من سلالة كبيرة والذي يكون في منتصف المسافة باتجاه وزنه القياسي المرجعي (800 كجم) ومع أنه لا يزال ينمو، يتنبأ بأنه يأكل 10.1 كجم مادة جافة في اليوم.

مراجع الفصل السابع عشر

1. Agricultural and Food Research Council 1991 *Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. 8, Voluntary Intake of Cattle*. Wallingford, CAB International (see also *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B*, **61:** 815-823).
2. Australian Standing Committee on Agriculture 1990 *Feeding Standards for Australian Livestock: Ruminants*. Melbourne, CSIRO.
3. Boorman K N and Freeman B M (eds) 1979 *Food Intake Regulation in Poultry*. Edinburgh, British Poulrty Science.
4. Campling R C and Lean I J 1983 Food characteristics that limit voluntary intake. In Rook J A F and Thomas P C (eds) *Nutritional Physiology of Farm Animals*. London, Longman.
5. Dulphy J P and Demarquilly C 1983 Voluntary feed consumption as an attribute of feeds. In Robards G E and Packham R G (eds) *Feed Information and Animal Production*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux.
6. Forbes J M 1983 Physiology of regulation of food intake. In Rook J A F and Thomas P C (eds) *Nutritional Physiology of Farm Animals*. London, Longman.
7. Forbes J M 1986 The voluntary Food Intake of Farm Animals. London, Butterworths.
8. Forbes J M, Varley M A and Lawrence T L J (eds) 1989 *The Voluntary Food Intake of Pigs*. Occasional Publication of the British Society of Animal Production, No. 13.
9. Hacker J B (ed) 1982 *Nutritional Limits to Animal Production from Pastures*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux.
10. Hacker J B and Ternouth J H (eds) 1989 *The Nutrition of Herbivores*. Sydney, Academic Press.
11. Sykes A H 1983 Food intake and its control. In Freeman B M (ed) *Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl*. London, Academic Press.

الفصل الثامن عشر

العشب ومحاصيل العلف

العشب ومحاصيل العلف Grass and forage crops

العشب Grass

إنّ الغذاء الطبيعي لآكلات العشب المستأنسة هو عشب المرعى، و يمثل هذا المصدر ولجزء كبير من السنة كل أو معظم الغذاء. وقد تقسم المراعي *grasslands* إلى مجموعتين رئيسيتين: مرعى طبيعي *natural grassland*، وهو يشمل رعي الأراضي القاسية والهضبة، ومرعى مزروع *cultivated grassland* والذي ربما يقسم مرة أخرى إلى مراعي دائمة ومؤقتة. ويمثل الأخير جزءاً من دورة المحاصيل بينما يراد من المرعى الدائم أن يبقى كعشب غير محدد. وتشمل المراعي الطبيعية عادة عدداً كبيراً من أنواع الأعشاب، البقوليات و الحشائش، بينما ربما تتكون المراعي المزروعة من نوع وحيد أو خلطات من إعداد قليلة نسبياً من الأنواع.

نمط النمو Pattern of growth

يبدأ العشب في المناخ البارد والمعتدل في النمو في الربيع عندما تصل درجات حرارة التربة 4 - 6 ^{o}م، ومن ذلك الوقت فصاعداً يكون النمو متشابهاً جداً بصرف النظر عن النوع أو الصنف. وهناك إنتاج سريع في الورقة يتبعه زيادة في نمو الساق، مؤدياً إلى ظهور القمة المزهرة وأخيراً إلى تكوين البذرة. وبنمو العشب في الربيع يزداد تركيز المادة الجافة، ويكون ذلك ببطء في البداية ثم بشكل أسرع مع نمو السوق وظهور السنابل وأخيراً ببطء أكثر مع بداية نمو السنبلة.

يرجح في المناخ الحار أن تكون درجة الحرارة عالية بما يكفي للسماح بنمو العشب طوال السنة، لكن النمو يقيد عموماً بنقص الماء. عندما يتميز المناخ بمواسم محددة الرطوبة والجفاف بوضوح، فإن نمو العشب يكون سريعاً جداً أثناء الموسم الرطب ولكن كلما جفت التربة فإن العشب ينضج ويموت، تاركاً مصدر الغذاء والذي يوصف في بعض الأحيان بالدريس الدائم (Standing hay). وحتى في الظروف الأكثر رطوبة، فإن النباتات في الظل العميق في قاعدة المرج قد تموت وبذلك تعطي حشائش منتهية في تمام النضج Senescent وهي ذوات قيمة غذائية منخفضة. أن المعدل الذي ينمو به العشب يعتمد علي البيئة والعناصر الغذائية المتوفرة وكمية الورق المتعرضة للضوء بداخل المرج.

وبعد الحصاد مباشرة هناك فترة من استعادة النمو بشكل بطئ متبوعة بمعدل متسارع وأخيراً فترة من النمو المتناقص كلما نضج العشب.

كلما ازداد العشب المرج في مساحة الورق فإن سعة التمثيل الضوئي للأوراق المتعاقبة والمتزايدة حديثاً تتناقص بشكل واضح بسبب زيادة الظل الذي تكونه. ويعتمد المعدل الذي يحدث به إعادة النمو على نضج المحصول عند وقت الحصاد. عندما يكون العشب ورقياً صغيراً فإنه يستعيد وضعه بسرعة أكثر ويبدأ في إعادة النمو في وفت مبكر مقارنة بالعشب المحصود ناضجاً.

المكونات الكيميائية Chemical composition

إنّ مكونات المادة الجافة لعشب المرعى متباينة جداً؛ وربما يتراوح محتوى البروتين الخام من كمية قليلة وهي 30 جم/كجم في عشب ناضج تماماً إلى ما فوق 300 جم/كجم في عشب صغير مسمّد بكثافة. محتوي الألياف، بشكل واسع، مرتبط عكسياً مع محتوى البروتين الخام، ربما يتراوح محتوى ألياف المنظف الحمضي (Acid – detergent fibre) من 200 إلى ما فوق 450 جم/كجم في الإعشاب الناضجة تماماً من أنواع الأرض السبخية (moorland).

ولمحتوى الرطوبة في العشب أهمية خاصة عندما حصد المحصول للحفظ، فهي عالية في المادة الصغيرة، عادة 750– 850 جم/كجم، وتنخفض معا نضج النباتات إلى حوالي 650 جم/كجم. ومن ناحية أخرى، فإن ظروف الطقس تؤثر بشدة في محتوى الرطوبة.

وتشمل الكربوهيدرات الذائبة في الماء الموجودة في الأعشاب الفركتانز "fructans" وسكريات الجلوكوز، الفركتوز، السكروز، الرافينوز والستاكيوز (Stachyose) (أنظر الجدول 1.18).

تكون الكربوهيدرات المخزنة في أعشاب المناطق المعتدلة نوع فركتان fructan وهي أكثر الكربوهيدرات الذائبة وتوجد بشكل رئيسي في الساق. تتراكم النشويات بالأعشاب ذات المنشأ الاستوائي أو شبه الاستوائي، بدلاً من الفركتانز، وذلك في أنسجتها الخضرية "Vegetative tissues"، و تخزن هذه المواد بدرجة رئيسية في الأوراق. يكون تركيز الكربوهيدرات الذائبة في الماء في الأعشاب متبايناً جداً، يتراوح مما هو أقل من 25 جم/كجم

مادة جافة في بعض الأنواع الاستوائية إلى أكثر من 300 جم/كجم مادة جافة في بعض الأصناف من نبات الزيوان.

الجدول 1.18 مكونات المادة الجافة في عينة الزيوان الإيطالي Italian ryegrass حصدت في مرحلة ورقية صغيرة (جم/كجم).

مكونات تقريبية:		كربوهيدرات:		مكونات نيتروجينية:		مكونات أخرى:
بروتين خام	190	جلوكوز	16	نيتروجين كلي	30	لجنين 52
مستخلص أيثير	45	فركتوز	13	نيتروجين بروتين	27	
ألياف خام	208	سكروز	45	نيتروجين غير بروتيني	3	
مستخلصات خالية من النيتروجين	449	سكريات قليلة[a]	19			
رماد	108	فركتانز	70			
		جالاكتانز	9			
		ارابان	29			
		زايلان	63			
		سيليولوز	202			

a: باستثناء السكروز

محتوى السيليولوز عامة في نطاق 200 - 300 جم/كجم مادة جافة وأما الهيميسيليولوز فقد يختلف محتواه فهو يتراوح من 100 إلى 300 جم/كجم مادة جافة. إن تركيز كل من مكونات هذه السكريات المتعددة يزداد مع النضج؛ وكذلك الحال يحدث مع اللجنين، والذي يقلل معامل هضم العناصر الغذائية المفيدة، ماعدا الكربوهيدرات الذائبة والتي تكون مهضومة تماماً.

إنّ البروتينات هي المركبات النيتروجينية الرئيسية في العشب، وبالرغم من تناقص المحتوى الكلي للبروتين تبعاً للنضج فإن النسب التقريبية للأحماض الأمينية لا تتغير كثيراً.

بشكل مماثل، نجد أن تكوين الأحماض الأمينية في البروتينات يختلف قليلاً بين أنواع الأعشاب. هذا ليس أمراً مدهشاً بما أن نحو نصف البروتين الخلوي في الأعشاب يكون في صورة إنزيم مفرد "ribulose biphosphate carboxylase"، والذي يلعب دوراً مهماً في تثبيت ثاني أكسيد الكربون في التمثيل الضوئي. تكون بروتينات الأعشاب غنية بشكل خاص في الحمض الاميني الارجينين (Arginine)، وكذلك تحتوي كميات كبيرة من حمض جلوتاميك واللايسين. يكون لهذه البروتينات أيضاً قيم بيولوجية عالية للنمو مقارنة مع بروتينات البذور.

إنّ الميثايونين هو الحمض الأميني الأول والايزوليوسين هو الثاني في بروتينات الأعشاب المحددة للنمو، من ناحية أخرى، وبسبب كثافة أيض الأحماض الأمينية في الكرش، فإن هذا العامل ليس ذا أهمية في الحيوانات المجترة. وبصفة عامة يميل محتوى البروتين في الأعشاب الاستوائية بأنه أقل مما هو في أنواع المناطق المعتدلة.

إن لتركيب الأحماض الأمينية في الأعلاف أهمية، ويظهر ذلك بوضوح عند استخدام الأغذية كمصادر بروتين لغير المجترات. من ناحية ثانية، ففي المجترات تكون الخصائص الأكثر أهمية لبروتينات العلف هي تفككها في الكرش ومعامل هضمها الكلي. في الأعلاف غير الناضجة كلاً المقياسين تكون عموماً عالية جداً (0.8 – 0.9)، ولكنها تتناقص مع نضج الأعلاف (وينخفض محتواها مع البروتين الكلي). نسبة هامة من البروتين في المرعى

الناضج ربما تكون غير مهضومة لأنها مرتبطة مع الألياف (نيتروجين غير مهضوم مرتبط مع المنظف الحمضي (ADIN، Acid-detergent indigestible nitrogen)

ويختلف الجزء النيتروجيني غير الروتيني في أعشاب المرعى تبعاً للحالة الفسيولوجية للنبات، وبشكل عام، كلما كانت ظروف النمو إيجابية أكثر يكون محتوى النيتروجين غير البروتيني أعلى وكذلك قيمة النيتروجين الكلي، وعندما تنضج النباتات فإن محتوى كليهما يتناقص.

إنّ المكونات الأساسية لجزء النيتروجين غير البروتيني هي أحماض أمينية، وأمينات مثل الجلوتامين والاسباراجين glutamine and asparagine ولها علاقة بتصنيع البروتين، نيتريت nitrates قد توجد هي أيضاً، وقد لقي وجودها في أعشاب المرعى اهتماماً كبيراً بسبب تأثيراتها السامة على حيوانات المزرعة، مع أن النيتربت في حد ذاته غير سام نسبياً للحيوانات. وينتج الأثر السام على المجترات عن طريق اختزال النيتريت nitrate إلى نايترايت nitrite في الكرش. الناتيرايت، وليس النيتريت، تؤكسد الحديدوز الموجود في الهيموجلوبين إلى حالة الحديديك، منتجاً صبغة بنية تدعى methaemoglibin وهي غير قادرة على نقل الأوكسجين إلى أنسجة الجسم. وتشمل أعراض التسمم ارتجافا، ترنحاً، سرعة التنفس ثم الموت. ولقد ورد في التقارير أن أعراض التسمم قد تحدث في حيوانات ترعى أعشاباً محتوية على أكثر من 0.7 جم نيتروجين – نيتريت/كجم مادة جافة، بالرغم من أن التركيز المميت أعلى بكثير من هذا. اقتبست بعض السلطات قيمة ممثلة لنيتروجين النيتريت نحو 2.2 جم/كجم مادة جافة، بينما اقترح آخرون قيمة زائدة كثيراً عن هذه.

وقد يكون التناول المفاجئ للنيتريت خطيراً بشكل خاص؛ وبالتجربة فإن هذا قد يتم عن طريق التجريع "drenching"، ولكن قد يحدث عملياً عندما تؤكل أعشاب مرعى وهي عادة غير سامة ولكن بشكل سريع وغير اعتيادي. أحياناً تكون النيتريت أقل سمية عندما يحتوي الغذاء كذلك على كربوهيدرات ذائبة. يختلف محتوى الأعشاب من النيتريت حسب جنس ونوع العشب ودرجة التسميد بالرغم من أن الكمية الموجودة ترتبط مباشرة وبصفة عامة مع محتوى البروتين الخام.

إنّ محتوى الليبيد في الأعشاب، وكما يتم تحديده في جزء مستخلص الأثير، منخفض بعض الشيء وقلما يتجاوز 60 جم/كجم مادة جافة. مكونات هذه المجموعة تشمل ثلاثي أسيل جلايسرول، ليبيدات جلايكودية، شمع، ليبيدات فوسفورية وسيترولات. تتواجد ثلاثي اسيل الجلايسرول بكميات قليلة فقط والمكونات الرئيسية هي ليبيدات مع جالاكتوز galactolipids، والتي تمثل حوالي 60 % من إجمالي محتوى الليبيد.

ويكون حمض اللينولينك هو الحمض الدهني الرئيسي، مكوناً مابين 60 و 75 % من مجموع الأحماض الدهنية الموجودة، يلي ذلك مباشرة تنتشر بكثرة أحماض اللينوليك والبالمتيك.

ويكون محتوى المعادن في المرعى مختلفاً جداً، وهذا معتمد على النوع، مرحلة النمو، نوع التربة، ظروف الزراعة، استعمال الأسمدة؛ عرض لمدى المحتوى الطبيعي لبعض العناصر الضرورية مبين في الجدول 2.18.

جدول 2.18 مدى محتوى المعادن الضرورية في أعشاب المرعى بمنطقة معتدلة :

العنصر	منخفض	طبيعي	مرتفع
(جم/كجم مادة جافة)			
بوتاسيوم	12 >	30 –15	35 <
كالسيوم	2.0 >	5.0 –2.5	6.0 <
فوسفور	2.0 >	3.5 –2.0	4.0 <
كبريت	2.0 >	3.5–2.0	4.0 <
ماغنسيوم	1.0 >	2.0 – 1.2	2.5 <
ملجم/كجم مادة جافة			
حديد	45 >	150 – 50	200 <
منجنيز	30 >	200 –40	250 <
زنك	10 >	50 –15	75 <
نحاس	3.0 >	8.0 – 4.0	10 <
موليبدينم	0.40>	3.0 – 0.5	5.0 <
كوبلت	0.06 >	0.25 – 0.08	0.30 <
سيلينيوم	0.02 >	0.20 – 0.03	0.25 <

يكون العشب الأخضر مصدراً استثنائياً غنياً من بيتا – كاروتين، مادة مكونة لفيتامين A وتحتوي المادة الجافة لمحصول أخضر ما مقداره 550 ملجم / كجم، ويوفر العشب من هذا النوع حوالي 100 مرة من احتياج بقرة رعي عندما يؤكل بكميات طبيعية.

ولقد اعتبرت النباتات النامية عامة بأنها لا تحتوي فيتامين D، بالرغم من وجود المواد المكونة له (precursors) في غالب الأحيان مع ذلك فقد اقترحت بعض الدراسات بأن فيتامين D قد يوجد في العشب ولكن بكميات قليلة نسبياً. وربما يكون كثرة محتوى فيتامين D في العشب الناضج عما هو في المادة حديثة النمو جزئياً بسبب وجود أوراق ميتة والتي تم فيها إنتاج فيتامين D2 من أثر الأشعة فوق البنفسجية على الإرجوستيرول ergosterol.

إنّ معظم محاصيل العلف الأخضر هي مصادر غنية من فيتامين E ومن العديد من فيتامينات-B وخاصة الرايبوفلافين (B_2).

عوامل مؤثرة في القيمة الغذائية للعشب:

مرحلة النمو

إن مرحلة النمو هي العامل الأكثر أهمية المؤثر في التركيب والقيمة الغذائية لعشب المرعى، وبنمو النباتات فإن هناك طلباً كبيراً للأنسجة الليفية، وبناءً عليه تزداد الكربوهيدرات البنائية الرئيسية (السيلولوز والهيميسيليولوز) واللجنين. يزداد تركيز البروتين بزيادة عمر النبات؛ وعليه فإن هناك علاقة تبادلية بين محتويات البروتين والألياف في أي نوع ما، بالرغم من أن هذه العلاقة قد تفسد تُقلب عن طريق استعمال النيتروجينية.

ويوضح الجدول 3.18 اختلاف المكونات الكيميائية في نوعين من الأعشاب، الزيوان المعمر (*Lolium perenne*) وعشب السنج الأرجواني (*Molinea caerulea*)، عند مراحل ثلاث من النمو. وتحدث كذلك تغيرات في المكونات المعدنية أو الرماد بالإضافة إلى

التغيرات في المكونات العضوية. يتناقص المحتوى الكلي للرماد بنمو النبات، وهذا منعكس في محتوى الكالسيوم، والذي يتبع نمطاً مماثلاً للمحتوى الكلي للرماد في الأعشاب. ويكون محتوى الماغنسيوم مرتفعاً بشكل عام في بداية الربيع ولكنه يهبط بحدة؛ ويرتفع خلال الصيف ويصل قيماً عالية في الخريف.

إن معامل هضم المادة العضوية هو احد العوامل المحددة للقيمة الغذائية للعلف،وربما يكون هذا مرتفعاً حتى يصل 0.85 في عشب المرعى الربيعي صغير وقد يكون منخفضاً حتى 0.45 في علف شتوي. المحدد الأساسي لمعامل هضم العلف هو التركيب التشريحي للنبات Plant anatomy. محتويات الخلية النباتية متكونة أساساً من كربوهيدرات ذائبة وبروتينات، وهذه تقريباً مهضومة كلياً، ويختلف معامل هضم أغلفة الخلية تبعاً لدرجة تقويته وحمايته باللجنين " reinforcement with Lignin ". ويتناقص بناءً عليه معامل الهضم بزيادة نضج النباتات، غير أن العلاقة معقدة بوجود فترة ربيعية نحو شهر يبقى خلالها معامل الهضم ثابتاً بعض الشيء، وقد وصفت هذه الفترة بأنها مرحلة الاستقرار النسبي " the plateue ". تكون نهاية هذه الفترة مصحوبة ببزوغ السنبلة (ear)، وقد يتناقص بعدها معامل هضم المادة العضوية على نحو مفاجئ. يكون معدّل التناقص في الأعشاب النامية في المملكة المتحدة حوالي 0.004 وحدة في اليوم.

جدول 3.18 المكونات والقيمة الغذائية لأعشاب نوع "*Lolium perenne*" و" *Molinea caerulea*" زرعت في اسكتلندا عند ثلاث مراحل نضج:

(After Armstrong R.H, Common TG and Smith H K 1986 *Grass and Forage Science* 41, 53-60)

	Lolium perenne			*Molinia caerulea* [a]		
	24 مايو	7 يوليو	4 أغسطس	3 يوليو	16 أغسطس	6 أكتوبر
نسبة الورق	0.63	0.29	0.27	0.95	0.87	0.78
مادة جافة (جم/كجم)	165	338	300	374	468	428
مكونات المادة الجافة جم/كجم مادة جافة)[b]						
بروتين خام	143	69	48	149	97	59
رماد	88	68	74	27	29	20
ألياف المنظف الحمضي	227	316	347	327	414	435
لجنين	16	41	49	52	95	95
معامل هضم المادة الجافة[c]	0.80	0.68	0.59	0.67	0.54	0.48
المأكول (جم/كجم$^{0.75}$/يوم)	73	56	39	70	44	28

a الحصاد من مرج في هضبة تحتوي حوالي 80% ***M. caerulea***

[b] **CP** = بروتين خام؛ **ADF** = ألياف المنظف الحمضي، [c] تم تحديده باستخدام أغنام

يتأثر معامل هضم الأعشاب أيضاً بنسب الورق إلى الساق. إن استعمال تقنية التخمر معملياًَ مكّن من تحديد معامل هضم الأجزاء المختلفة في النباتات. ويكون الساق مهضوماً أكثر من الورقة في العشب الصغير جداً، ولكن بينما يتقدم النضج فإن معامل هضم جزء الورقة ينخفض ببطء أما جزء الساق فيهبط سريعاً. وتكوّن الساق نسبة متزايدة من مجمل العشب بنمو النباتات، ومن ثم فلها تأثير هائل على معامل هضم النباتات كله أكثر من تأثير الورق.

ينعكس نقص معامل الهضم بسبب مرحلة النمو كذلك في قيم الطاقة الأيضية والطاقة الصافية في الأعشاب كما هو موضح في الجدول 4.18. ليست القيم المنخفضة

للطاقة الصافية في عشب ناضج بسبب انخفاض معامل هضم المادة العضوية فقط، ولكنها مرتبطة أيضاً بارتفاع تركيز السيليولوز. ويشجع هذا السكريد المتعدد، مستويات عالية من حمض الخليك في الكرش، والذي له كفاءة استخدام منخفضة فيما يتعلق بالنمو والتسمين (انظر الفصل 11).

النوع Species

تمثل الفصيلة النجيلية "Gramineae" عائلة كبيرة جداً وقسمت ثانية إلى 28 قبيلة (tribe) والتي منها الستة الكبرى تحتوي معظم أعشاب المرعى ذوات الأهمية الاقتصادية. جميع هذه القبائل الستة لها انتشار واسع ولكن تُحدد غالباً أهميتها في أي منطقة معينة وفقاً لدرجة الحرارة وبدرجة أقل تبعاً للأمطار. موضح في جدول 5.18 انتشار هذه القبائل وبعض عناصرها المهمة زراعياً.

جدول 4.18 القيمة الغذائية لأربع حصدات من الزوان المعمر (Perenial ryegrass).

(After Armstrong DG 1960 *Proc. 8th Int. Grassland Cong*., p 485)

المكونات (جم/كجم مادة جافة)	حصدة 1 ورقي صغير	حصدة 2 ورقي متأخر	حصدة 3 ظهور سنبله	حصدة 4 بذور كاملة
بروتين خام	186	153	138	97
ألياف خام	212	284	258	312
سيليولوز	253	284	299	356
الطاقة (ميجا جول /كجم مادة جافة)a				
الأيضية	13.1	12.2	11.6	8.9
الصافية (للحفظ)	10.3	9.3	8.8	7.3
الصافية (لزيادة الوزن الحي)	6.9	6.9	5.6	3.8

[a] تم تحديدها باستخدام أغنام ناضجة (تامة النمو)

جدول 5.18 القبائل الرئيسية في النجيليات، مناطقها الرئيسية المهمة وأمثلة من أنواع أعشابها

القبيلة	المناطق الرئيسية	الأمثلة
Agrosteae مرجيات زاحفة	كل المنطقة المعتدلة	**bent grasses – *Agrostis Spp.*** مرجية زاحفة **Timothy – *Phleum pratense*** عشبة ثيموثي
Aveneae	المنطقة الباردة والمعتدلة	***Holucus lanatus*** **Yorkshire fog** ضباب يوركشير ***Danthonia pilosa*** **tussock grass** أصبعية المخاضر
Festuceae فستوكيات	المعتدلة وخاصة الولايات المتحدة	الزوان **ryegrass – *Lolium Spp.*** **fescues – *Festuca Spp.*** **bromes –*Bromus Spp.***
Eragrosteae	المنطقة الاستوائية والمنطقة الدافئة	**love grass – *Eragrostis curvula*** **weeping**
Andropogoneae	المنطقة الاستوائية وخاصة جنوب شرق اسيا	**gamba – *Andropogan gayanus*** **Jaragua – *Hyparrhenia rufa***
Paniceae	المنطقة الاستوائية وشبه الاستوائية	**pangola –*Digitaria decumbens*** **grass** **Guinea – *Panicum maximum*** **grass** **dallies –*Paspalum dilatatum*** **grass** ***–Pennisetum purpureum*** **elephant grass**

في المناطق المعتدلة والتي يكون بها توزيع الأمطار منتظماً وباعتدال، تنمو الأعشاب وتنضج ببطء نسبي وبالتالي يمكن استخدامها في مراحل نمو مبكرة عندما تكون قيمتها

الغذائية عالية. ومن جهة أخرى، ففي المناخ الأكثر دفئاً، تنضج الأعشاب بسرعة أكثر، وتنخفض محتوياتها من البروتين والفوسفور إلى مستويات متدنية جداً، ويرتفع محتواها من الألياف.(أنظر جدول 6.18.) يكون العشب المتوفر في المناطق الاستوائية الرطبة ليفي بشكل عام ولكن كثيرة الأوراق "lush" (تعني مرتفعة في المحتوى المائي)؛ فقد يصبح العشب الناضج مجففاً "desiccated" في المناطق الجافة ويستهلك في الرعي على أنه " Standing hay". ويكون معامل الهضم منخفضاً في كلتا الحالتين، والقيم النموذجية لعشب استوائي هي 0.1 – 0.15 وحدة أقل من عشب المنطقة المعتدلة، ولم تكن الفروق بين مكونات أعشاب المنطقة المعتدلة والاستوائية نتيجة المناخ فقط. ويكون في أنواع المناطق المعتدلة من الأعشاب التي تنتمي إلى فئة (C_3) من النباتات فوسفور جلايسيريت "phosphoglycerate" ذو الثلاث ذرات كربون مركب وسطي مهم في التخليق الضوئي لتثبيت ثاني أوكسيد الكربون.

إنّ معظم الأعشاب الأستوائية لها مسار (C_4) في التخليق الضوئي حيث يثبت ثاني أوكسيد الكربون أولاً بواسطة تفاعل يتضمن مركب أوكزال اسيتيب "Oxalacetate" وبه أربع ذرات كربون. محتوى البروتين المنخفض الموجود عادة في الأعشاب المدارية هو خاصية متأصلة في أيض نبات C_4، وهو مرتبط بالبقاء تحت ظروف تربة متدنية الخصُوبة.

جدول 6.18 المكونات (جم/كجم مادة جافة) وقيم الطاقة الأيضية (ميجا جول/كجم مادة جافة) لثلاث حصدات من عشب Jaragua (*Hyparrhenia rufa*) زرع في البرازيل

(From Gohl B 1981 *Tropical feeds*, FAO Rome)

مرحلة النمو	المكونات				طاقة أيضية
	بروتين خام	ألياف خام	مستخلص إيثر	رماد	
النمو الخضري	**92**	**289**	**26**	**149**	**8.4**
الإزهار الكامل	**35**	**314**	**19**	**136**	**7.0**
الطور اللبني	**28**	**337**	**15**	**115**	**6.5**

في أعشاب المنطقة المعتدلة تكون الفركتانز "fructans" هي الكربوهيدرات المخزنة الرئيسية بينما يستبدل هذا بالنشا في الأنواع الاستوائية.

وثمة عامل آخر في الأهمية الغذائية وهو أن تشريح أوراق الأعشاب الاستوائية يختلف عما هو في أعشاب المنطقة المعتدلة، ففي الأعشاب الاستوائية توجد حزم وعائية أكثر وغمد وعائي مغلف وسميك، وبالتالي أكثر لجنين وتكون خلايا النسيج الوسطي mesophyll مرصوصة بكثافة أكثر مما هو الحال في أعشاب المنطقة المعتدلة. بناءً عليه، يكون حيز الهواء بين الخلايا في الأعشاب الاستوائية نحو 3-12 % فقط من حجم الورقة مقارنة بنحو 10-35 % في أنواع المنطقة المعتدلة. ويفسر هذا ولو جزئياً سبب أن قوة الشد لدى الأعشاب الاستوائية أعلى من أنواع المنطقة المعتدلة، وهي ميزة ينتج عنها بطء في كل من التفكك الميكانيكي والتحلل الميكروبي في الكرش. تكون النتائج المترتبة عن هذا، أنّ معامل هضم أقل للأعشاب الاستوائية وأدنى تناول طوعي للمادة الجافة.

إن انتخاب أنواع نباتات المرعى مؤسس على تلك الخصائص الزراعية كالمثابرة والإنتاجية، ولكن القيمة الغذائية تؤخذ في الاعتبار هي أيضاً. تختلف الأصناف داخل النوع عامة بدرجة صغيرة من ناحية القيمة الغذائية، لو أن المقارنة تمت عند نفس مرحلة النمو، إلا إن الفروق بين الأنواع المتشابهة ربما تكون كبيرة. المثال التقليدي عن أعشاب المنطقة المعتدلة هو الفرق بين الأصناف الانجليزية من الزوان المعمر (*Lolium perenne*) والإصبعية المجتمعة أو قدم الكلب (*Dactylis glomerata* ; Orchard grass). يوجد عند نفس مرحلة النمو بصنف cocksfoot، S.37 تركيزات أقل في الكربوهيدرات الذائبة ونحو 0.05 – 0.06 وحدات من المادة الجافة أقل من أصناف من الزوان (S.23 و S.24).

يكون الزوان المعمر في بريطانيا هو أكثر الأنواع التي تبذر في المرعى من حيث الأهمية، غير أن الزوان الايطالي (*Lolium multiflorum*)، التيموثي (*phleum pratense*)، الإصبعية المجتمعة (قدم الكلب) والفستوكات (*Fescues Spp.*) شائعة أيضاً. تكون هذه الأنواع في المراعي القديمة مصحوبة بأنواع من الحشائش وخاصة عشبة الكلا (الكليئة المرجية meadowgrass (*Poa pratensis)*، عشب يوركشير (*Holcus lanotus*) والمرجية الزاحفة (*Agrostis Spp.*). ومن ناحية أخرى، ففي الأراضي المرتفعة نجد أن بعضاً من هذه الأنواع من الحشائش مثل الزاحفات "bents" مع بعض الأنواع الأخرى مثل عشب الحصير (*Nardus stricta*) وعشب السيخ الأرجواني "*Molinia caerulea*" (انظر جدول 3.18) تعتبر مكونات ذوات قيمة في المروج (Sward). نباتات العائلة البقولية وخاصة أنواع البرسيم

(*Trifolium Spp.*) لها مساهمة مهمة في المراعي، والخصائص الغذائية لهذه العائلة وسوف تناقش في القسم التالي من هذا الفصل.

الترب والمعالجة بالسماد Soils and fertilizer treatment

إن أنواع الترب قد يؤثر في مكونات المرعى، وخاصة المحتوى المعدني، وعادة ما تتفاعل النباتات مع النقص المعدني في التربة إما بتحديد النمو أو عن طريق خفض تركيز العنصر في أنسجتها أو كليهما في معظم الأحيان. إضافة إلى ذلك، ربما يؤثر نقص العناصر المعدنية في استغلال العشب؛ وهكذا ففي الأغنام، يؤدي نقص الكبريت إلى خفض معامل هضم العشب.

إنّ حموضة التربة عامل مهم يمكنه أن يؤثر، على وجه الخصوص، في امتصاص عديد العناصر الصغرى عن طريق النباتات. ويكون امتصاص كل من المنجنيز والكوبلت ضعيفاً من قبل النباتات في الترب الكلسية، بينما تكون الترب الحمضية غالباً مصحوبة بمستويات منخفضة من الموليبدينم في العشب. Teart وهي مصحوبة بارتفاع مستويات الموليبدينم في العشب وتحدث بشكل عام في مرعى تم زراعته في ترب مشتقه من طين clay Lower Lias أو من حجر جيري.

قد تؤثر الإضافات الوفيرة للأسمدة بوضوح في المحتوى المعدني للنباتات، والمعروف أيضاً أن استعمال الأسمدة النيتروجينية يزيد مساحة الورقة بالإضافة إلى معدل التمثيل الضوئي. ويزداد كنتيجة لذلك محتوى البروتين الخام، وغالباً ما تزداد محتويات الأميد والنيتريت

natrate. يعمل استعمال الأسمدة النيتروجينية أيضاً على خفض محتوي الكربوهيدرات الذائبة في الماء في أعشاب المنطقة المعتدلة، والذي قد يكون له تأثير ضار على التخمر عند حفظ هذا المحصول كسيلاج. وقد تؤثر الأسمدة أيضاً، وبشكل غير مباشر، في القيمة الغذائية للمرج "Sward" وذلك بتحوير التركيب النباتي. فمثلاً، لا تنمو البقوليات في تربة ينقصها الكلس (الجير)، بينما تشجع الإضافات الهائلة من النيتروجين نمو الأعشاب وفي نفس الوقت تخفض نمو البرسيم (البرسيم Clover).

نظام الرعي Grazing System

في العديد من نظم الرعي التقليدية، تستمر الحيوانات في نفس الجهة من المرعى على مدار السنة (رعي مستمر). في مثل تلك النظم يكون المعدل النموذجي للحيوانات في وحدة المساحة "Stocking rate) بأنه نظام يحافظ على توازن تام بين نمو عشب جديد وأكله من قبل الحيوانات، ففي هذه الحالة؛ يتوفر للحيوان مصدر ثابت من العشب الجديد (وبالتالي عشب مغذٍ)، ومن ناحية عملية، من النادر تحقيق هذا الوضع المثالي. عندما يفوق معدل النمو معدل الرعي عليه، يتراكم العشب وينضج، بناءً عليه تنخفض القيمة الغذائية للمادة المعروضة. ومن ناحية أخرى، تسمح زيادة كمية العشب المعروض للحيوانات بأن ترعى اختيارياً، وتكون قادرة بعض الشيء على تعويض الانخفاض العام للقيمة الغذائية عن طريق انتقاء نباتات أو أجزاء من النباتات والتي تكون ذوات قيمة غذائية أعلى من البقية. فقد يتم اختيار الورقة مثلاً مفضلة عن الساق، يكون ذلك الرعي الاختياري مهماً بشكل خاصةً فيما يتصل بالمراعي التي تحتوي أنواعاً كثيرة من النياتات (مثلاً شجيرات وأشجار

إضافة إلى أعشاب وبقوليات عشبية). عندما يتجاوز معدل القطف معدل نمو المرعى، يقال بأن ضغط الرعي على المرعى قد أزداد، فيقل الانتقاء من قبل الحيوانات ، وربما تعرّي نباتات المرعى من الورق ويستنزف مخزون جذورها وتخفق في النمو من جديد. وقد يغير كل من الرعي الجائر والرعي تحت المستوى التركيب النباتي للمراعي وبالتالي القيمة الغذائية لإعشابها.

يتم الرعي في نظم الرعي المتعاقب، في المرعى لفترات قصيرة عند معّدل عالٍ للحيوانات في وحدة المساحة وضغط الرعي؛ تقوم الحيوانات بأكل معظم العشب المعروض، ثم يترك المرعى بعد ذلك للراحة لفترات أطول للانتعاش. وبإمكان المزارع مثلاً، أن يقسم مراعية إلى 28 حقل صغير "Paddocks" ويرعى كل واحد منها ليوم واحد، وهكذا يسمح بوجود 27 يوم للنمو من جديد. حالما تثبت الدورة، فإن الحيوانات يجب أن تتحصل على عشب ذي قيمة غذائية ثابتة على نحو مناسب. وقد يتم في هذه الأنظمة التحكم في التوازن بين العشب النامي والعشب المقطوف عن طريق تنوع إعداد الحيوانات أو الحقول الصغيرة (مثلاً قد يتم حصد بعض الحقول الصغيرة لعمل السيلاج).

العوامل الأخرى المؤثرة في القيمة الغذائية للعشب

Other factors affecting the nutritive value of grass

قد تؤثر عوامل أخرى كالمناخ والموسم في القيمة الغذائية للمرعى. فمثلا قد تتأثر تركيز السكريات والفركتانز بوضوح بحسب كمية أشعة الشمس التي يستقبلها النبات.

فيكون محتوى الكربوهيدرات الذائبة في العشب عموماً في اليوم المعتم الغائم أقل مما هو في يوم صافٍ مُشمِش، وكما يمكن أن تؤثر الأمطار في التكوين المعدني لعشب المرعى.

ويميل الكالسيوم، على سبيل المثال، إلى التراكم في النباتات أثناء فترات الجفاف ولكن يكون موجوداً بتركيز أقل عندما تكون رطوبة التربة عالية؛ ومن ناحية أخرى يبدو أن الفوسفور موجود بتركيزات أعلى عندما تكون الأمطار شديدة.

إنّ قيمة الطاقة الصافية في عشب الخريف كثيراً ما تكون أقل من عشب الربيع، حتى وإن تم حصد الاثنين عند مرحلة نمو متشابهة وهي متساوية في معامل الهضم أو تركيز الطاقة الأيضية. فمثلا، وجد أن المادة الجافة لعشب الربيع الذي يحتوي 11 ميجا جول طاقة أيضية/كجم مادة جافة وفّرت 5.2 ميجا جول طاقة صافية /كجم للتسمين، بينما وفرت النموات المتأخرة والتي لها نفس محتوى الطاقة الأيضية 4.3 ميجا جول فقط/كجم.

لا يمكن أن يعزى هذا الفرق في الوقت الحاضر إلى فروق في المكونات الكيميائية للأعشاب المبكرة الموسم أو المتأخرة، بالرغم من أن الأخير كثيراً ما يكون أقل في محتوى الكربوهيدرات الذائبة وأعلى في محتوى البروتين.

محاصيل العلف الأخرى Other forage Crops

البقوليات Legumes

تحتوي عائلة البقليات (البقوليات) "Leguminosae" حوالي 18000 نوع وهي ذوات قيمة لقدرتها على النمو في علاقة تكافلية مع البكتيريا المثبتة للنيتروجين ولمقاومتها

للجفاف. والبقوليات الشائعة في المراعي هي البرسيم (.*Trifolium Spp*)، النماذج الرئيسية منها البرسيم البنفسجي " *T. pretense* " والبرسيم الأبيض (*T. repense*) في المناطق الباردة والرطبة مثل أوروبا ونيوزيلندة، وبرسيم (*T. subterraneum*) في المناطق الجافة مثل المنطقة الجنوبية من استراليا.

ويعتبر البرسيم متفوقاً غذائياً عن الأعشاب في محتوى البروتين والمعادن (خصوصاً الكالسيوم، الفوسفور، الماغنسيوم، النحاس والكوبلت)، وقيمتها الغذائية تنخفض بدرجة أقل مع العمر، وقد وضحت الدراسات على البرسيم الأبيض أن معدلات انخفاض حجم الحبيبة وحركة المادة الدقيقة الناتجة من الحبيبات من الكرش تكون أسرع بكثير مما هو مع العشب. وقد استهلكت الأغنام والأبقار التي قدم لها البرسيم الأبيض كعلف طازج، 20 % زيادة من المادة الجافة مقارنة مع عشب به نفس محتوى الطاقة الأيضية. وتم الحصول على المأكول الطوعي المماثل من المادة الجافة وذلك باستخدام البرسيم البنفسجي وبقوليات أخرى.

إنّ السكريات الموجودة في البرسيم مشابهة لما وجد في الأعشاب، والسكر الرئيسي الموجود هو السكروز. الفركتانز لا وجود لها بشكل عام، ولكن النشا موجود وتركيزات هذا السكريد المتعدد بارتفاع يصل إلى 50 جم/كجم مادة جافة تم تسجيله في أوراق مجففة من البرسيم البنفسجي.

إنّ العديد من المراعي الاستوائية تنقصها بقوليات أصيلة النشأة "indigenous"، ولكن اتخذت محاولات لتنظيم إدخالها. في أستراليا، مثلاً، تم إدخال

" *Centrosema pubescens* " وهو من أمريكا الشمالية إلى مراعي من النوع الاستوائي الرطب، وكذلك (*Macroptilium atropurpureum*) ويدعى Siratro تم إنتاجه من أصناف مكسيكية للاستخدام في المناطق الجافة. نظراً لأن البقوليات الاستوائية مماثلة تشريحياً لبقوليات المنطقة المعتدلة، إلا إنها تختلف بدرجة أقل في معامل الهضم مما في أعشاب المناطق الاستوائية والمعتدلة.

وتوجد كذلك الصفصفة أو البرسيم الحجازي *(Medicago Sativa)* في المراعي، ولكنها كالعديد من البقوليات الأخرى تكون عموماً نامية بنفسها. ولقد وجدت في مناطق معتدلة دافئة في العديد من الأقطار الاستوائية وشبه الاستوائية. إنّ محتوى البروتين مرتفع نسبياً وينخفض ببطء فقط عن النضج (جدول 7.18).

وتميل الصفصفة النامية في المملكة المتحدة إلى كونها عالية الألياف، خصوصاً الساق، وقد تكون الألياف عند مرحلة التزهير المتأخرة عالية، نحو 500 جم/كجم مادة جافة. ويمكن التمييز بين أصناف الصفصفة بواسطة وقت التزهير، وينصح في ظروف المملكة المتحدة بالأنواع مبكرة التزهير. وتزهر هذه الأنواع عادة (Varieties) في الأسبوع الثاني من يونيو، ولكن للحصول على حصده بمعامل هضم مقبول، يجب أن يُحصد المحصول أولاً عند مرحلة البرعم المبكر (نهاية مايو)، عند محتوى متوقع للمادة العضوية المهضومة (DOM) لتكون حوالي 620 – 640 جم/كجم مادة جافة، والحصدات التالية عند فترات زمنية كالأسبوع السادس والثامن لتعطي قيماً للمادة العضوية المهضومة نحو 560–600 جم/كجم مادة جافة.

جدول 7.18 مكونات المادة الجافة في الصفصفة (*Medicago sativa*)

(From MAFF 1975 *Energy Allowances and feeding systems for Ruminants*, Tech. Bull. 33 p70. HMSO, London.)

	قبل البراعم	عند البراعم	بداية التزهير
الألياف خام (جم/كجم)	**220**	**282**	**300**
الرماد (جم/كجم)	**120**	**82**	**100**
البروتين الخام (جم / كجم)	**253**	**205**	**171**
المادة العضوية المهضومة (جم/كجم)	**670**	**620**	**540**
الطاقة الأيضية (ميجا جول/كجم)	**10.2**	**9.4**	**8.2**

وفي بريطانيا، نجد أن المساحة الصغيرة المزروعة من الصفصفة يتم حصدها أساساً للسيلاج أو للتجفيف الاصطناعي (أنظر فصل 20)، ولكن في أجزاء أخرى من العالم، ومن أشهرها الولايات المتحدة الأمريكية (حيث تعرف باسم alfalfa)، يستخدم المحصول للرعي كذلك.

ينمو البرسيم المصري (*Trifolium alexandrinum*) وهو بقول مهم في منطقة البحر الأبيض المتوسط والهند، قيمته في سرعة نموه في موسم الشتاء معتدل البرودة في المناطق شبه الاستوائية ولانتعاشه الجيد بعد القطع أو الرعي، له قيمة غذائية مماثلة للصفصفة.

السنفون (*Onobrychis viciifolia*) نبات بقولي أقل أهمية اقتصادية من الصفصفة، و يكون في المملكة المتحدة مقصوراً على مناطق رئيسية قليلة في الجنوب. مثله مثل معظم الأعلاف الخضراء وتكون الورقة أغنى من الساق في البروتين الخام، مستخلص الايثر والمعادن وخصوصاً الكالسيوم.

إنّ التغيرات التي تحدث في مكونات النبات تكون أساساً بسبب اختلاف مكونات الساق ونسبة الورق إلى الساق. وقد يختلف محتوى البروتين الخام في المادة الجافة من 240 جم/كجم عند مرحلة التزهير المبكر إلى 140 جم/كجم عند التزهير الكامل. وقد تكون قيم الألياف الخام المناظرة عند نفس مراحل النمو 140 و 270 جم/كجم مادة جافة.

تزرع البسلة (البازلاء) "*Pisum sativum*"، الباقلاء (اللوبيا، فول الخيل) *Vicia faba* والبقية الشائعة (*Vicia sativa*) جميعها أحياناًً كمحاصيل علف خضراء، وعندما تحصد في مرحلة التزهير المبكر تكون مماثلة للبقوليات الأخرى في القيمة الغذائية.

الليوسينا (*Leucaena leucocephala*) وتعرف أيضاً ipil-ipil، وهو نبات بقولي شبه استوائي ذو قيمة ويزرع بتوسع في عدة أجزاء من العالم، أشهرها جنوب شرق آسيا، أمريكا اللاتينية و West indies. ليست كالبقوليات الأخرى المشار إليها في هذا الفصل، هذا النبات leucaena عبارة عن شجيرة أو شجرة. الأوراق، السوق الصغيرة، الأزهار والقرون جميعها مصادر ممتازة من البروتين والمعادن. وتقارن المادة الورقية من leucaena بالصفصفة فيما يتعلق بالبروتين الخام (250 – 340 جم/كجم مادة جافة)، والمعادن وكذلك فهي مصدر ممتاز من بيتا – كاروتين.

الاضطرابات الغذائية المصاحبة للبقوليات

Nutritional disorders associated with legumes

اضطراب يصادف كثيراً في الأبقار والأغنام التي ترعى مراعٍ تسودها البقول هو النفاح " التطبل" bloat. وتكون معظم المشاكل الخطيرة مرتبطة بالبرسيم والصفصفة، والسبب الرئيسي للنفاخ هو احتباس غازات في رغوة ثابتة، يمنع التخلص منها بواسطة التجشؤ "eructation". ويعتقد بأن بروتينات ذائبة توجد في الورقة تلعب الدور الرئيسي في تكوّن الرغوة. البقوليات التي تحتوي علي تركيزات عالية نسبياً من التانينات المكثفة "Condensed tannins" (> 20 جم/كجم)، مثل السنفون "Onobrychis viciifolia" لا يرجح بأنها تسب النفاخ، نظراً لأن التانينات ترسب البروتينات الذائبة.

متلازمة النفوق الفجائي ويشار إليها " redgut " مرتبطة بأغنام الرعي على صفصفة نقية. يعتقد بأن هذا سببه سرعة عبور الغذاء المهضوم بدرجة عالية خلال الكرش مسبباً زيادة التخمر في الأمعاء الغليظة. في تجارب الفطام المبكر في نيوزيلندة، نفقت من هذا الاضطراب 1-2 % من حملان الرعي على الصفصفة، وقد انخفض وقوع هذا الاضطراب عند إضافة دريس عشب " meadow hay " إلى الصفصفة.

يعرف بأن عدداً كبيراً من الأنواع النباتية تحتوي مركبات لها نشاط إستروجيني، ونباتات المرعى المحتوية علي هذه الاستروجينات النباتية هي بصورة رئيسية الأنواع *Trifolium subterraneum* (البرسيم تحت الأرضي)، *T.pratense* (البرسيم البنفسجي)، *Medicago sativa* (الصفصفة) ثم *M. truncatula* (صفصفة مخططة). الاستروجينات في

Trifolium Spp تكون من نوع isoflavones بينما الموجودة في *Medicago Spp* تكون عادة من نوع Coumestans.

إنّ مركبات Isoflavones و Coumestans الموجودة طبيعياً لها نشاط استروجيني ضعيف نسبياً ولكن هذا النشاط يمكن أن يزداد كنتيجة للأيض في الكرش. مثلاً، مركب Isoflavone الأساسي في البرسيم تحت الأرضي هو، formononetin، يتحول إلى equol في الكرش. بعض النباتات مثل *T. repense* (البرسيم الأبيض)، طبيعياً ليست استروجينية ولكن عندما تصاب بالفطريات تستطيع أن تنتج تركيزات عالية من coumestan. إن استهلاك نباتات المرعى الاستروجينية من قبل الأغنام يؤدي إلى تدنٍ حاد في الخصوبة ونفوق ما بعد الولادة في الحملان. وقد يدوم تدني الخصوبة لفترات طويلة بعد تحويل النعاج من المراعي الاستروجينية، والسبب الرئيسي لتدني الخصوبة هو تكاثر غير سوي لخلايا غدّية حوصلية في الرحم Cystic glandular hyperplasia، الذي يسبب زيادة تدفق المخاط ومن ثم رداءة في اختراق الحيوانات المنوية (الحيامن Sperm) قناة البُييضات "Oviduct". وربما يحدث تدنٍ مؤقت للخصوبة في نعاج ترعى مراعٍ استروجينية في وقت التناسل وقد تتجدد الخصوبة عندما تنقل الأغنام إلى مراعٍ أخرى.

وتحتوي أصناف محسنة من البرسيم تحت الأرض " *Tifolium subterraneum* " محتويات أقل من المواد الاستروجينية وهي مزروعة الآن في استراليا. ولا يبدو أن الأبقار التي ترعى مراعٍ استروجينية تعاني مشاكل خطيرة من تدني الخصوبة التي تصيب الأغنام.

تحتوي الليوسينا "leucaena" على حمض أميني سام (memosin)، يتحول هذا الحمض في الكرش إلى "DHP) dihydroxypyridine)" وهو مركب له خصائص الجويتر (الدراق) goitrogenic. وقد تعاني المجترات التي تستهلك كميات كبيرة من الليوسينا من نقص الوزن، اختلال وظيفي في الغدة الدرقية وتساقط الشعر أو الصوف "alopecia".

تمتلك حيوانات الرعي في الأقطار التي توجد بها تجمعات طبيعية من الليوسينا كائنات دقيقة بالكرش قادرة على هدم "DHP". في استراليا، ويتحسن الأثر الضار من إدخال الليوسينا عن طريق حقن inoculating حيوانات الرعي بمحتويات كرش من حيوانات في هاواي Hawaii.

الحبوب " الغلال "

Cereals

تزرع الغلال في بعض الأحيان كمحاصيل علف أخضر، إما منفردة أو مخلوطة مع بقوليات. يكون العلف الناتج مشابهاً للحبوب، فهو غني بالكربوهيدرات ومنخفض في البروتين، وتعتمد قيمته الغذائية أساساً على مرحلة النمو عند الحصاد (أنظر جدول 8.18). ويكون عامة محتوى البروتين في الحبوب عند مرحلة الرعي في مدى 60 – 120 جم/كجم مادة جافة. في وقت تكوين السنبلة (ear) وينخفض تركيز الألياف الخام كنتيجة للزيادة الكبيرة في النشا والذي يميل للمحافظة على قيمة معامل الهضم.

جدول 8.18 مكونات الشعير كاملاً عند مراحل مختلفة من النمو

(From Edwards R.A, Donaldson E and MacGregor AW 1968 *J. Sc.i Food Agric*., 19, 656-660; MacGregor A.W and Edwards R.A 1968 *J. Sci. Food Agric*., 19,661-666)

	مرحلة النمو[a]						
	1	2	3	4	5	6	7
مادة جافة (جم/كجم)	191	200	258	293	353	387	425
مكونات المادة الجافة (جم/كجم)							
البروتين الخام	103	87	72	67	56	60	66
الإلياف الخام	313	321	286	253	204	195	254
كربوهيدرات ذائبة في الماء[b]	193	200	265	326	255	185	86
فركتوز	60	50	41	31	29	31	22
جلوكوز	60	60	42	29	28	20	11
سكروز	19	15	23	33	21	20	4
فركتانز	31	33	72	128	122	66	23
نشا	3	3	4	10	185	348	413
كالسيوم	5.1	5.5	5.2	4.1	3.5	2.3	1.9
فوسفور	2.3	2.0	1.8	1.7	1.6	1.7	2.1
قيمة D[c]	62	54	58	61	63	61	55

a = مرحلة النمو **1** = قمة مكتملة ،**2**=تزهير، **3** = للب"الحب" المائي، **4** = الحب اللبني، **5** = نضج دقيقي مبكر، **6** = نضج دقيقي متأخر، **7**= ناضج للحصاد، **b** =كربوهيدرات ذائبة في الماء، **c**= مادة عضوية مهضومة كنسبة من لمادة الجافة(معملياً)

قصب السكر **Sugarcane**

قصب السكر *Saccharum officinarum* وهو عشب استوائي وشبه استوائي معمر ينمو إلى ارتفاع يصل نحو 4.5 – 6.0 متر أو أكثر. يعامل المحصول من أجل ما به من سكر والذي يخلف اثنين من النواتج الثانوية، دبس السكر "molasses" ومتبقي ليفي يعرف بالتفل bagasse، ودبس القصب غذاء عالٍ الطاقة منخفض البروتين يشابه تركيب الدبس

المستخرج كناتج ثانوي من بنجر السكر، أما التفل فهو عبارة عن ناتج عالي الألياف ومنخفض البروتين له معامل هضم منخفض جداً و يتم خلطه في بعض الأحيان مع دبس القصب لأجل تغذية الأبقار. التفل غير المخلوط بالدبس له معامل هضم حوالي 0.28، ولكن هذا يمكن زيادته بشكل مثير إلى حوالي 0.55 عن طريق معاملتة ولفترة قصيرة (5 إلى 15 دقيقة) بواسطة البخار الرطب عند 200 ْم. وقد وُجد بأن التفل المعامل بالبخار والمدعم باليوريا ملائم كغذاء حافظ لأبقار اللحم.

يستخدم محصول قصب السكر كاملاً في بعض البلدان، كعلف للمجترات وهذا المحصول الكامل به طاقة أيضية بقيمة حوالي 9 ميجا جول/ كجم على أساس المادة الجافة ومحتوى البروتين الخام منخفض، حوالي 40 جم/كجم.

الكرنب **Brassica**

يشمل جنس الكرنب نحو 40 نوعاً، والمجموعة التالية منها لها أهمية زراعية:

كرنب ملفوف (kales)، كرنب ملفوف (Cabbages)، اللفت (rapes)، اللفت (turnips) كرنب لفتي (Swedes). بعض أنواع الكرنب تزرع أساساً كمحاصيل جذرية وهذه سوف تناقش في الفصل 21.

الكرنب **Kales (*Brassica oleracea*)**

يشمل الكرنب أصنافاً كثيرة جداً من أنواع النبات والتي تتراوح من نباتات ورقية قصيرة، بارتفاع 30 سم، إلى أنواع تصل طول 2 متر وبسيقان قوية بشكل يكفي لاستعمالها في أعمال البناء. أشهر نوع قصير هو كرنب thousandhead (var. *fruticosa*) وأشهر

نوع طويل هو كرنب الساق المجوف (var. *acephala*)، الذي يعرف في "Australasia" باسم ""chou moelier" و تزرع هذه الأنواع في أجزاء معتدلة من العالم لتوفير علف أخضر أثناء الشتاء، ولكن يمكن في المناطق الجافة أن تستعمل أيضاً لتكلمه الرعي الصيفي.

الكرنب Kales منخفض في محتوى المادة الجافة (حوالي 140 جم / كجم) وهي غنية بالبروتين (حوالي 150 جم / كجم) ، الكربوهيدرات الذائبة في الماء (200 - 250 جم / كجم) والكالسيوم (10 – 20 جم / كجم)، وقيمتها الهضمية عامة عالية. تكون السوق الخشبية للكرنب من نوع الساق المجوف أقل في معامل هضمها من بقية النبات وربما ترفض من قبل الحيوانات.

اللفت **Rapes**

إنّ اللفت المزروع في بريطانيا عادة هو Swede-rapes (*B. napus*) بالرغم من أن turnip-rapes (*B. campestris*) يوجد أيضاً، فقيمتها الغذائية مشابهة لأنواع الكرنب الأخرى.

الكرنب الملفوف **Cabbages (*B.oleracea*, var.*capitata*)**

تزرع هذه الأنواع للاستهلاك البشري والحيواني وتتراوح في النوع من ذوات الأوراق المفتوحة إلى ما يشبه جلده الطبل drumhead، و تكون نسبة الساق بها جميعها قليلة وبالتالي تكون أقل تليفاً من Kales أو rapes.

التسمم بمحاصيل كرنب العلف Toxicity of brassica forage crops

يحتوي جميع الكرنب المزروع كعلف، جذور أو محاصيل بذور زيتية، جميعه مواد مولدة للجوتر goitrogenic. وتكون هذه المواد في محاصيل العلف بالدرجة الأولى نوع ثيوسايانات thiocyanate والتي تتداخل مع تناول اليود بواسطة الغدة الدرقية ويمكن التغلب على تأثيره عن طريق زيادة محتوى اليود في الغذاء. وقد تظهر جميع حيوانات الرعي على كرنب العلف الجويتر بدرجة ما، غير أن معظم التأثيرات الخطيرة وجدت في حملان مولودة من نعاج كانت ترعى علي الكرنب خلال فترة الحمل؛ وقد تولد هذه الحملان ميتة أو غير طبيعية. وهناك اعتقاد (ولكن لم يؤكد تماماً) أن أبقار الرعي على اللفت Kales ربما تفرز مقداراً كافياً من goitrogen في ألبانها لتسبب الجويتر في الأطفال الذين يشربونه.

وربما يسبب كرنب العلف الانيما التحليلية haemolytic anaemia في المجترات، وتتحطم كريات الدم الحمراء بسرعة في الحالات الشديدة التي ينخفض فيها الهيموجلوبين في الدم إلى ثلث قيمته الطبيعية وفيها يظهر الهيموجلوبين في البول (haemoglobinuria)، وهذه الظاهرة نتيجة وجود حمض أميني غير اعتيادي في الكرنب وهو

S-methyl cysteine Sulphoxide وهو يختزل في الكرش إلى dimethyl disulphide:

$$2CH_3 - \overset{O}{\overset{\|}{S}}.CH_2CHNH_2COOH + H_2 \longrightarrow CH_3.S.S.CH_3 + 2CH_3CO.COOH + 2NH_3$$

S-methylcysteine sulphoxide — Dimethyl disulphide — Pyruvic acid

المعروف أن مركب Dimethyl disulphide يحطم الخلايا الحمراء حيث يحتوي الكرنب الأخضر على 10 – 20 جم S - methylcysteine sulphoxide /كجم مادة جافة. الحالة يتم تجنبها على أحسن وجه عن طريق ضمان أن الكرنب أو اللفت Kale، rape لا يمثل أكثر من ثلث ما يتناوله الحيوان من مادة جافة.

القمم الخضراء Green tops

شمندر الماشية، بنجر العلف، اللفت وقمم الكرنب اللفتي Swede، قد تستخدم كلها لتغذية حيوانات المزرعة، و يكون الحرص مطلوباً عند التغذية بشمندر الماشية، بنجر العلف وقمم بنجر السكر، نظراً لأنها تحتوي على مكون سام و ربما هذا يؤدي إلى إسهال حاد وألم شديد، وتؤدي الحالات الشديد إلى النفوق. ويبدو أن الخطر يقل عن طريق ترك الأوراق لكي تذبل. ويعزى التسمم إلى حمض أوكزاليك Oxalic acid وأملاحه والذي من المفترض إنه تم اختزاله أو إزالته بواسطة الذبول أو التجفيف هوائيا "Wilting".

تطرح دراسة حديثة بعض الشك ضد هذه النظرية، نظراً لأن محتوى الاوكزالات في الأوراق لا يتأثر عملياً بواسطة الذبول. ويحتمل ألا تكون المواد السامة أوكزلات ولكنها عوامل أخرى تحطمت أثناء الذبول.

قمم اللفت والكرنب اللفتي Swede and turnip غير ضارة كغذاء، وقد يصل محتوى البروتين الخام في المادة الجافة بها إلى 200 جم/كجم، معامل هضم المادة العضوية حوالي 0.70؛ وكما هو الحال في kale، rape و Cabbage، فقد تسبب الأنيميا التحليلية

haemolytic anaemia في المجترات. تحتوي قمم بنجر السكر عامة في الجزء الأعلى من الجذر إضافة إلى الأوراق الخضراء وهي مهضومة أكثر، حوالي 0.77 وجميع هذه القمم الخضراء مصادر ممتازة فيما يتعلق ببيتا كاروتين.

مراجع الفصل الثامن عشر

1. Butler G W and Bailey R W (eds) 1973 *Chemistry and Biochemistry of Herbage*, Vols 1-3. London, Academic Press.
2. Holmes W (ed.) 1989 *Grass, its Production and Utilization*, 2nd edn. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
3. Jones D I H and Wilson A D 1987 Nutritive quality of forage. In Hacker J B and Ternouth J H (eds) *The Nutrition of Herbivores*. Sydney, Academic Press.
4. Leng R A 1990 Factors affecting the utilisation of `poor quality` forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutrition Research Reviews*,**3**: 277-303.
5. Minson D J 1990 *Forage in Ruminant Nutrition*. New York Academic Press.
6. Thomas C, Reeve A and Fisher G E J (eds) 1991 *Milk from Grass*, 2nd edn, Reading British Grassland Society.
7. Whiteman P C 1980 *Tropical Pasture Science*. Oxford University Press.

الفصل التاسع عشر

السيلاج

السيلاج Silage

السيلاج مادة منتجة عن طريق تخمر محكم لمحصول بمحتوى عالٍ من الرطوبة. السلوجة (الطمر) اسم يعطي لهذه العملية والمحتوى، لو استخدم يدعى صومعة (Silo). تقريباً أي محصول يمكن حفظه كسيلاج (علف مطمور)، بالرغم من أن المحاصيل الشائعة الاستخدام هي الأعشاب، البقوليات والغلال الكاملة وخاصة الذرة.

إنّ الهدف الرئيسي الأول من حفظ المحاصيل عن طريق التخمر الطبيعي هو تحقيق ظروف لا هوائية، و يتم هذا عملياً بواسطة تقطيع المحصول أثناء الحصاد، عن طريق تعبئه سريعة للصومعة (Silo) وبتماسك كافٍ وغلق محكم. ولعل الهدف الأساسي من الغلق هو الحد من دخول الهواء ودورانه من جديد أثناء التخزين. عندما يكون الأكسجين في ملامسه مع العشب لأي فترة زمنية يحدث نشاط هوائي تنحل المادة إلى ناتج عديم الجدوى، غير صالح للأكل وأحياناً سام.

كما أنّ الهدف الرئيسي الثاني هو إعاقة نشاط كائنات حية دقيقة غير مرغوبة مثل الكلوسترديا "clostridia" البكتيريا المكونة للجراثيم، وانتيروبكتيريا "enterobacteria" (البكتيريا العصوية سالبة جرام) وتخرج هذه الأنواع نواتج تخمر غير مرغوب فيها. ويمكن الحد من نشاط هذه الكائنات الدقيقة إما عن طريق تشجيع نمو بكتيريا حمض اللاكتيك أو بواسطة استخدام مضافات كيميائية. بكتيريا حمض اللاكتيك تخمر سكريات موجودة طبيعياً (الجلوكوز والفركتوز بالدرجة الأولى) في المحصول إلى مخلوط من الأحماض، ولكن يسودها حمض اللاكتيك و يعمل هذا الأخير على زيادة تركيز ايونات الهيدروجين إلى

مستوى يمنع فيه نمو البكتيريا غير المرغوبة. إن التركيز الدقيق والحرج لايونات الهيدروجين (pH) والذي يحدث عنده التثبيط يتباين وفقاً لمحتوى المادة الجافة وقدرة المحصول المسولج على أن تعمل كمنظم كيميائي . وللبقوليات قدرة عالية كمنظم كيميائي مقارنة بالأعشاب وبالتالي فهي أكثر صعوبة عند سولجتها بشكل ملائم. وفيما يتعلق بمحاصيل العشب ذات محتوي رطوبة حوالي 20 جم/كجم فإن تحقيق pH حوالي 4.0 سوف يحفظ المحصول طبيعيا وبشكل ملائم، شريطة أن تبقى الصومعة مغلقة بإحكام وخالية من اختراق المطر. وتكون المحاصيل الرطبة صعبة جداً عند سلوجتها على نحو ملائم ما لم تذبل مبدئياً تحت ظروف مناخية جيدة أو تعامل بمضاف مناسب. وبشكل مماثل، فإن المحاصيل المنخفضة في الكربوهيدرات الذائبة في الماء أو ذات التأثير المنظم العالي buffering، يجب كذلك معاملتها بمضاف فعال قبل سلوجتها.

إنّ أنواع الصوامع التي قد يختارها المزارع لتخمير محصوله مختلفة جداً، وتتراوح من اكياس بلاستيكية صغيرة إلى أبراج اسطوانية مبنية من الخرسانة، الحديد أو الخشب. وقد زادت في السنوات الأخيرة و بشكل كبير كمية السيلاج المحفوظ كبالات كبيرة، وهي عادة ما تزن من 0.5 إلى 75 طن موضوعة في أكياس بلاستيكية أو مغلفة بغطاء بلاستيكي. ولعل هذه طريقة ملائمة لحفظ العشب شريطة أن تكون الأكياس مغلقة جيداً ولم يتم ثقبها أثناء التخزين.

ومن المحتمل أن أشهر صومعة مستخدمة هي المستودع أو المشدودة " clamp or bunker" والتي تتكون عموماً من ثلاثة جدران صلبة ارتفاعها نحو 2 إلى 3 متر وتشيد عادةً

تحت الحظيرة الهولندية Dutch barn لحماية السيلاج من المناخ، وعندما تكون هذه الصوامع مملوءة، تغطي بغطاء بلاستيكي وتثقل ببعض المواد المناسبة كالإطارات أو بالات التبن.

وتعتمد القيمة الغذائية للسيلاج المنتج أولاً على النوع ومرحلة النمو للمحصول المحصود، وعوامل أخرى تمت مناقشتها في الفصل السابق، كما تعتمد على التغيرات الناتجة من نشاطات انزيمات نباتية وكائنات حية دقيقة خلال فترة الحصاد والتخزين.

الإنزيمات النباتية Plant enzymes

تحدث بعد حصاد المحصول مباشرة وأثناء المراحل المبكرة للسلوجة، تغيرات كيميائية ناتجة من نشاط الإنزيمات الموجودة في نسيج النبات. ولعل عمليات التنفس وتحلل البروتين مهمة وخصوصاً في التأثير على القيمة الغذائية للناتج النهائي.

التنفس Respiration

ربما يعرّف التنفس بأنه تحلل أكسيدي لمركبات عضوية لإنتاج طاقة صالحة للاستعمال. يكون الأوكسجين في النباتات الراقية، كما هو في الحيوانات، هو المستقبل النهائي للالكترونات. كما تكون الكربوهيدرات هي المصدر التنفسي الرئيسي وعادة ما تكون مادة تفاعل الأكسدة سكراً سداسياً، والذي يخضع للجلكسه Glycolysis وأكسدة متتالية عبر دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل (TCA) حتى تعطي ثاني أوكسيد الكربون والماء. وتكون تفاعلات التخليق الحيوي في النباتات التي تم حصادها محدودة، و تتحول في الواقع كل الطاقة في السكر السداسي إلى حرارة.

وسوف تتشتت هذه الطاقة الحرارية في النبات المعزول إلى الهواء الجوي، ولكن في الصومعة (Silo) تحتجز الحرارة في كتلة العشب محدثةً زيادة في درجة الحرارة. إن فقد الكربوهيدرات الذائبة، خلال التنفس، هو عملية تؤدي للتلف وقد ينتج عنها استنزاف مادة التفاعل مما يؤثر بشدة في التخمر اللاحق. وسوف يستمر التنفس النباتي في الصومعة طالما توفر كل من الأوكسجين ومصدر مادة التفاعل (Substrate)، ولعل أبسط طريقة لتحديد التنفس هي تحقيق ظروف لا هوائية في الصومعة سريعاً وبقدر المستطاع.

التحلل البروتيني Proteolysis

في العشب الغض، 75 إلى 90 % من النيتروجين الكلي موجود كبروتين يحدث بعد الحصاد، تحلل بروتيني سريع (تحلل الروابط الببتيدية) وربما ينخفض محتوى البروتين بما يصل إلى 50 % بعد أيام قليلة عند الذبول في الحقل. ويختلف مدى تحلل البروتين حسب نوع النبات، محتوى المادة الجافة ودرجة الحرارة، وبمجرد سلوجة المادة، يتواصل تحلل البروتين بالرغم من تناقص النشاط عندما ينخفض تركيز أيونات الهيدروجين (pH). وتكون نواتج تحلل البروتين عبارة عن أحماض أمينية وببتيدات ذوات سلاسل مختلفة الأطوال.

يحدث هدم إضافي للأحماض الأمينية كنتيجة لفعل الإنزيم النباتي، بالرغم من أن هذا يعتبر محدوداً. ويتم معظم هدم الأحماض الأمينية في السيلاج عن طريق نشاط ميكروبي وليس بواسطة إنزيمات نباتية.

الكائنات الدقيقة Microorganisms

الفطريات الهوائية والبكتيريا هي الكائنات الدقيقة السائدة على العشب الغض، لكن بتطور الظروف اللا هوائية في الصومعة يُستبدل ذلك ببكتيريا قادرة على أن تنمو في انعدام الأوكسجين، و تشمل هذه بكتيريا حمض اللاكتيك، كلوستريديا وانتيروبكتيريا.

بكتيريا حمض اللاكتيك وهي لا هوائيات اختيارية (قادرة على أن تنمو في وجود الأوكسجين أو انعدامه)، تكون موجودة اعتيادياً بإعداد قليلة على المحاصيل النامية، ولكن احياناً ما تتضاعف سريعاً بعد الحصاد، خصوصاً عندما يقطع المحصول أو يمزق.

و قد تقسم هذه إلى فئتين ، بكتيريا التخمر المتجانس (homofermetative bacteria) مثل (*Pediococcus pentosaceus, Lactabacillus plantarum, Enterococcus faecalis*) ثم بكتيريا التخمر غير المتجانس heterofermentative bacteria (*Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus brevis*). عندما يتم سلوجة المحصول، وتستمر بكتيريا حمض اللاكتيك في الزيادة، وتعمل على تخمر الكربوهيدرات الذائبة في الماء الموجودة في المحصول إلى أحماض عضوية، ومنها اللاكتيك بالدرجة الأولى، والذي يقلل قيمة pH. بكتيريا حمض اللاكتيك متجانسه التخمر تكون أكثر كفاءة من الكائنات غير المتجانسة التخمر في حالة إنتاج حمض اللاكتيك من السكريات السداسية (جدول 1.19.) أثناء عمل السيلاج، كما يحدث تحلل الهيميسيليولوز hemicellulose محرراً سكريات خماسية والتي قد تتخمر إلى أحماض لاكتيك وخليك عن طريق معظم أنواع بكتيريا حمض اللاكتيك.

جدول 1.19 بعض مسارات التخمر أثناء عمل السيلاج

أ. بكتيريا حمض اللاكتيك

<u>تخمر متجانس:</u>

جلوكوز ← 2 حمض لاكتيك

فركتوز ← 2 حمض لاكتيك

بينتوز ← حمض لاكتيك + حمض خليك

<u>تخمر غير متجانس:</u>

جلوكوز ← حمض لاكتيك + إيثانول+ ك أ$_2$

3 فركتوز ← حمض لاكتيك + 2 ميثانول+ 2 حمض خليك

+ ك أ$_2$

بينتوز ← حمض لاكتيك + حمض خليك

ب. كلوستريديا

Saccharolytic :

2 حمض لاكتيك ⟵ حمض بيوتاريك + 2 ك $أ_2$ + 2 $يد_2$

تحلل البروتين:

إزالة مجموعة الأمين Deamination

حمض جلوتاميك ⟵ حمض خليك + حمض بايروفيك+ ن $يد_3$

لايسين ⟵ حمض خليك + حمض بوتاريك + 2 ن $يد_3$

نزع مجموعة الكربوكسيل

آرجينين ⟵ بتريسين + ك $أ_2$

حمض جلوتاميك ⟵ حمض امينوبيوتاريك+ك $أ_2$

هستيدين ⟵ هستامين + م $أ_2$

لايسين ⟵ كادافيرين + ك $أ_2$

أكسدة واختزال (*Stickland*)

الانين + 2 جلايسين ⟵ 3حمض خليك+3ن يد3+ ك $أ_2$

ج. إنتيروبكتيريا

جلوكوز ⟵ حمض خليك + إيثانول + ك $أ_2$ + 2 $يد_2$

كلوستريديا **Clostridia**

الكلوستريديا موجودة على المحاصيل في شكل أبواغ (Spores) وتنمو فقط تحت ظروف لا هوائية صارمة. ويمكن تقسيمها إلى مجموعتين رئيسيتين هما Proteolytic clostridia, Saccharolytic clostridia". بكتيريا المجموعة الأولى (Sacchorolytic) (مثل *C.tyrobutyricum* و*Clostridium butryricum*) تخمر حمض اللاكتيك ومتبقيات الكربوهيدرات الذائبة في الماء إلى حمض بيوتاريك مسببة ارتفاعاً في pH. بكتيريا المجموعة الثانية (Proteolytic) مثل (*C. bifermentans* و*C. sporogenes*) تخمر الأحماض الأمينية بدرجة أساسية وتحولها إلى نواتج متنوعة تشمل حمض الخليك وحمض البيوتاريك، امينات وأمونيا (جدول 1.19).

وتكون الكلوستريديا حساسة وخصوصاً لتوفر الماء وتحتاج إلى ظروف رطبة جداً للنمو الفعال. وقد تصل مع المحاصيل الرطبة جداً (يعني التي يكون تركيز المادة الجافة بها حوالي 150 جم/كجم)، حتى عند تحقق قيمة pH منخفضة إلى 4 وربما لا يثبط هذا نموها.

إنتروبكتيريا Enterobacteria

توصف الانتيروبكتيريا المصاحبة للسيلاج، أحياناً ببكتيريا حمض الخليك أو البكتيريا القولونية (Coliform bacteria)، وتكون موجودة عادة على المحاصيل بإعداد منخفضة جداً. وتختلف عن الكلوستريديا، فهي لا هوائية اختيارياً، وبالتالي تتنافس مع بكتيريا حمض اللاكتيك فيما يتعلق بالكربوهيدرات الذائبة في الماء. وتقوم بتخمير هذه المركبات إلى خليط من نواتج تشمل حمض الخليك، إيثانول وهيدروجين، وهي تشابه الكلوستريديا حيث يمكنها إزالة الكربوكسيل "decarboxylate" وإزالة مجموعة الأمين "deaminate" من

الأحماض الأمينية مما يؤدي إلى إنتاج تركيزات عالية من الأمونيا. قوة تركيز أيونات الهيدروجين pH المثالية لنمو هذه الكائنات حوالي 7.0، وعادة ما تكون نشطة في مراحل التخمر المبكرة فقط عندما يكون pH لصالح نموها. ولعل الأمثلة من الأنواع التي توجد عموماً في السيلاج هي *Escherichia coli* و *Erwinia herbicola*.

الفطريات Fungi

تنمو الفطريات الموجودة على التربة وعلى النبات إما كخلايا مفردة فطريات الخميرة "Yeasts" أو كمستعمرات خيطية متعددة الخلايا، العفن "moulds". وتشمل فطريات الخميرة المصاحبة للسيلاج أنواع *Candida*، *Saccharomyces*، و *Torulopsis* وهي تلعب دوراً مهما وخصوصاً في فساد السيلاج عند تعرضه للهواء. ولا تعيش غالبية العفن "moulds" إلا بوجود الأوكسجين وبشكل كامل وتكون نشطة على الطبقات السطحية للسيلاج. إن نموها غير مرغوب لأنها تنتج السموم الفطرية mycotoxins والتي قد تكون مؤذيه للحيوان إلى أبعد حد. وتشمل الأنواع المصاحبة للسيلاج المتعفن *Penicillium*، *Fusarium* و *Aspergillus*.

فقدان العناصر الغذائية أثناء عمل السيلاج

Losses of nutrients during ensilage

مفقودات الحقل Field losses

تكون المفقودات من العناصر الغذائية فيما يتصل بحصاد المحصول وعمله سيلاج في نفس اليوم، ضئيلة جداً وحتى طوال فترة تذبيل لمدة 24 ساعة، فقد يتوقع فقدان في المادة الجافة ليس أكثر من 1 أو 2 %. وقد يحدث خلال فترات تذبيل أطول من 48 ساعة، فقد هائل في العناصر الغذائية متوقفاً على ظروف المناخ. وقد سجلت مفقودات في المادة الجافة بارتفاع وصل 6 % بعد خمسة أيام تذبيل وفقدان 10 % بعد ثمانية أيام من التذبيل. ولعل العناصر الغذائية المتأثرة بصورة رئيسية هي الكربوهيدرات الذائبة في الماء والبروتينات التي تتحلل إلى أحماض أمينية.

مفقودات الأكسدة Oxidation losses

تنتج هذه من أثر إنزيمات نباتية وميكروبية على مواد خاضعة للتفاعل مثل السكريات في وجود الأوكسجين، مما يؤدي إلى تكوين ثاني أكسيد الكربون والماء. ويكون الأوكسجين المحبوس داخل الأنسجة النباتية في حالة صومعة مملوءة سريعاً ومغلقة قليل الأهمية، مسبباً فقد مادة جافة حوالي 1 % فقط. تعرض العشب للأوكسجين باستمرار، كما يحدث في بعض الأحيان على الجوانب والسطح العلوي للعشب المسلوج، ويؤدي هذا إلى تكوين مزيج مادي غير صالح للأكل. وقد تكون قياسات هذا الجزء الضائع في السطح مضللة نظراً لا مكانية حدوث مفقودات في المادة الجافة تصل إلى75% في هذا التركيب.

المفقودات نتيجة التخمر Fermentation losses

بالرغم من حدوث تغيرات بيوكيميائية كبيرة أثناء التخمرُّ، وخاصة بالقياس إلى الكربوهيدرات الذائبة والبروتينات، فإن إجمالي المفقودات في المادة الجافة والطاقة والناشئ عن أنشطة بكتيريا حمض اللاكتيك يكون منخفضاً. ويمكن توقع مفقودات في المادة الجافة بأقل من 5%، وأن المفقودات في الطاقة الكلية تكون أقل أيضاً، بسبب تكوّن مركبات عالية الطاقة كالميثانول. يكون الفقد في حالة التخمر عن طريق الكلوستريديا والانتيروبكتيريا، في العناصر الغذائية أعلى بكثير مما هو في حالة التخمر عن طريق بكتيريا حمض اللاكتيك وذلك بسبب تكوّن غازات ثاني أكسيد الكربون، الهيدروجين والامونيا.

المفقودات نتيجة التدفق Effluent losses

يحدث في معظم الصوامع، صرف إرادي وتنتقل العناصر الغذائية الذائبة مع السائل أو الدفق "effluent". وتعتمد الكمية المتدفقة وبشكل كبير على محتوى الرطوبة الابتدائي في المحصول، ولكن سوف يزداد بشكل واضح إذا تركت الصومعة غير مغطاة وبذلك تدخل آلية المطر. يحتوي الدفق على سكريات، مركبات نيتروجينية ذائبة، معادن واحماض التخمر، وجميعها ذات قيمة غذائية عالية. وقد ينتج عن المحاصيل التي عملت كسيلاج بمحتوى مادة جافة 150 جم/كجم مفقودات في المادة الجافة المتدفقة يصل إلى 10% ، بينما تم تذبيل محاصيل إلى حوالي 300 جم/كجم مادة جافة تنتج القليل من الدفق، إن وجد.

القيم الغذائية للسيلاج Nutritive Values of silages

يمكن تقسيم السيلاج إلى صنفين رئيسيين، متخمر طبيعياً ومعامل بإضافات. و قد تقسم هذه مرة أخرى كما هو موضح في جدول 2.19.

السيلاج المتخمر طبيعياً Naturally-fermented silage

سيلاج غير مذبَّل جيد الحفظ Well-preserved unwilted silage

ويتكون غالباً هذا النوع من السيلاج، من أعشاب ومحاصيل غلال كاملة، وتسود فيه بكتيريا حمض اللاكتيك في عملية التخمر، والتركيب النموذجي مبين في جدول 3.19. وتتميز هذه الأنواع من السيلاج بقيم pH منخفضة، عادة بين pH 3.7 و 4.2 ، وتحتوي تركيزات عالية من حمض اللاكتيك. ويكون في سيلاج العشب حمض اللاكتيك عامة في المدى من 80 إلى 120 جم/كجم مادة جافة، بالرغم من أن كميات أعلى يمكن وجودها لو أن السيلاج تم تحضيره من محاصيل رطبة غنية بالكربوهيدرات الذائبة في الماء. ، وتكون محتويات حمض اللاكتيك عادة في سيلاج الذرة أقل بكثير مما في سيلاج العشب جيد الحفظ بسبب المحتوى الأعلى للمادة الجافة وبسبب أن الخصائص المنظمة Buffering أقل للمحصول الأصلي.

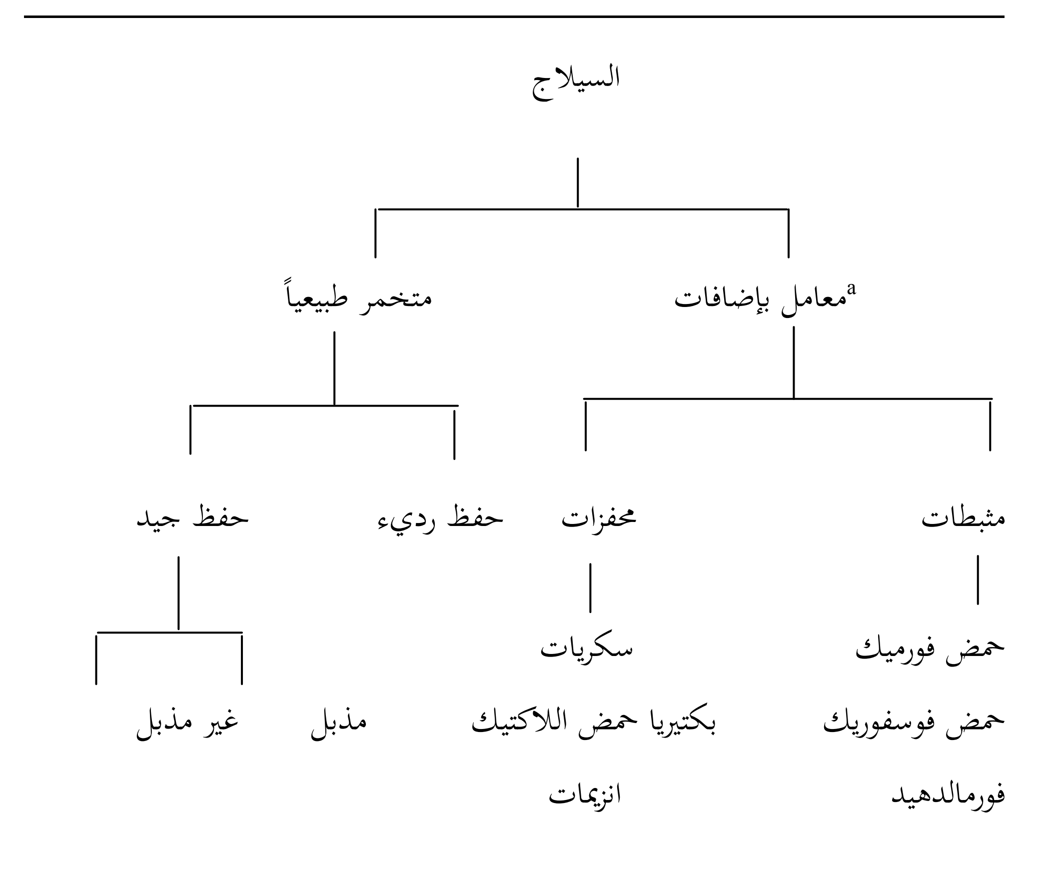
يحتوي السيلاج عادة على كميات قليلة من حمض الخليك وقد تحتوي أيضاً على مقادير ضئيلة من احماض البروبيونيك والبيوتاريك. وتكون كميات متنوعة من الايثانول والمانيتول mannitol المشتقة من أنشطة بكتيريا حمض اللاكتيك والخمائر موجودة. بينما

تبقى القليل جداً من الكربوهيدرات الذائبة في الماء بعد التخمر، وهي عادةً أقل من 20 جم/كجم مادة جافة.

تكون المكونات النيتروجينية في السيلاج جيد الحفظ أساساً في شكل غير بروتيني ذائب بعكس الموجود في محاصيل العلف الغضة، حيث يكون معظم النيتروحين الكلي كبروتين. وقد تحدث إزالة مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية بعض الشيء أثناء التخمر، ولكن يرجح أن هذا النشاط يكون منخفضاً وبناءً على ذلك سيكون محتوى الأمونيا في هذا السيلاج منخفضاً، عادة أقل من 100 جم نيتروجين– أمونيا/كجم من النيتروجين الكلي.

ومن ناحية ثانية، فإن المحتوى المرتفع لمحتوي النتيروجين غير البروتيني الذائب في هذه الأنواع من السيلاج مقروناً بمستويات منخفضة للكربوهيدرات الذائبة، قد تنتج عنه تركيزات عالية للأمونيا في الكرش، والذي يؤدي إلى انخفاض الاستفادة من نيتروجين السيلاج. وبينت دراسات حديثة أن إضافة سكريات، كالجلكوز والسكروز، قد تزيد تخليق البروتين الميكروبي في الكرش، ويحتمل أن يكون ذلك من خلال توفر مصدر من الكربوهيدرات الجاهزة للكائنات المجهرية في الكرش. كذلك، فإن إضافة مركزات بروتين معينة مثل مسحوق فول الصويا(Soya bean meal) ربما يكون له تأثير مماثل.

جدول 2.19 تصنيف السيلاج



[a] أعطيت فقط قليل من الأمثلة شائعة الاستغلال

إنّ هذا التأثير الأخير من الصعب تفسيره ولكن المقترح أن كفاءة تصنيع البروتين المبكروبي زادت كثيراً، أو تكاملت عندما تمكنت الكائنات الدقيقة من كل من نيتروجين الأحماض الأمينية (كبروتين) ونيتروجين الأمونيا.

نظراً لأن التغيرات الواسعة في الكربوهيدرات الذائبة في الماء، نتج عنها تكون مركبات عالية الطاقة مثل الايثانول (الطاقة الكلية = 29.8 ميجا جول/كجم)، فإن تركيزات الطاقة الكلية في هذا السيلاج أعلى مما هو في مادة الأصل. وتنعكس هذه التغيرات كذلك في قيم الطاقة الأيضية للسيلاج. معامل هضم السيلاج جيد الحفظ غير المذبل مشابه للمحصول الأصلي. إنتاج الميثان في الكرش مماثل لما ينشأ في حيوانات على أغذية من أعشاب غضة. وربما تكون المفقودات في الطاقة البولية في حيوانات تستهلك سيلاجاً أعلى قليلاً من تلك التي تستهلك العشب، و يعكس هذا رداءة استغلال نيتروجين السيلاج المشار إليها سابقاً. وقد أجريت تقديرات قليلة جداً للطاقة الصافية على سيلاج العشب، ولكن من البيانات المتوفرة و المحدودة هناك دليل يوحي بأن كفاءة الاستفادة من الطاقة الأيضية لأجل الحفظ (K_m) ولأجل النمو والتسمين (K_g) قد تنخفض بواسطة السلوجة (عمل السيلاج ensiling).

جدول 3.19 المكونات النموذجية لسيلاج جيد الحفظ مُعد من الزوان المعمر

perennial ryegrass [a] والذرة

(From Donaldson E and Edwards R A 1976 *J. Sci. Food Agric.,* 27, 536-544; Wilkinson J M and Phipps R H 1979 *J. Agric. Sci., Camb.,* 92, 485-491)

	سيلاج عشب		سيلاج ذرة
	غير مذبل	مذبل	
مادة جافة (جم /كجم)	**186**	**316**	**285**
pH	**3.9**	**4.2**	**3.9**
النيتروجين الكلي(جم/كجم مادة جافة)	**23.0**	**22.8**	**15.0**
نيتروجين البروتين (جم/كجم ن.ك[b])	**235**	**289**	**545**
نيروجين الامونيا (جم/كجم ن.ك)	**78**	**79**	**63**
ك.ذ.م[c] (جم/كجم مادة جافة)	**10**	**47**	**16**
نشا (جم/كجم مادة جافة)	**-**	**-**	**206**
حمض الخليك (جم/كجم مادة جافة)	**36**	**24**	**26**
حمض بيوتاريك (جم/كجم مادة جافة)	**1.4**	**0.6**	**0**
جمض اللاكتيك (جم/كجم مادة جافة)	**102**	**59**	**53**
الايثانول (جم/كجم مادة جافة)	**12**	**> 6.4**	**10**

[a] لقد تم إعداد كل من سيلاج الزوان من نفس مصدر الزوان. [b] ن.ك = نيتروجين كلي.

[c] ك.ذ.م=كربوهيدرات ذائبة في الماء.

إحدى المعوقات الإضافية للسيلاج جيد الحفظ غير المذبل هي، عندما يقدم لحد الشبع *ad libitum* للمجترات، فإنه يشجع على تناول مادة جافة أقل مقارنة بعشب غض أو جاف. في دراسة، أعدت فيها 86 مقارنة على أغنام، كان حجم النقص في المأكول بسبب السلوجة (عمل السيلاج) من 1 إلى 64 % ، وبمتوسط نقص في المأكول من المادة الجافة نحو 30 %. ويبدو أن للسلوجة تأثيراً كبيراً جداً في أضعاف المأكول فيما يتعلق

بالأغنام مقارنة بالأبقار وأن مدى الانخفاض يكون أكبر بكثير في حالة الأعشاب مقارنة بالبقوليات أو سيلاج الذرة. بالرغم من الارتباط السالب للمأكول من المادة الجافة مع الحموضة الكلية، فإن محتوى حمض الخليك والأمونيا المعبّر عنهما كنسبة من النيتروجين الكلي إلا أن المسبب الدقيق للمأكول المنخفض غير معروف.

سيلاج مذَّبل جيد الحفظ Well-preserved wilted Silages

إن عملية تذبيل المحصول قبل أن يسلوج تحد من التخمر على نحو متزايد كلما إزداد محتوى المادة الجافة. وتكون أنشطة الكلوستريديا والانتيروبكتيريا في مثل ذلك السيلاج في الحد الاعتيادي الأدنى بالرغم من حدوث بعض النشاط لبكتيريا حمض اللاكتيك، حتى في اعشاب مذبّلة إلى محتوى مادة جافة تصل إلى 50 جم/كجم. كما يكون التخزين اللا هوائي في صوامع خندقية (bunker) صعباً في حالة سيلاج جاف جداً من هذا النوع، وربما يؤدي إلى درجات حرارة عالية جداً، منتجة سيلاجاً ذا قيمة غذائية منخفضة. وفيما يتصل بالمحاصيل التي بها مادة جافة عالية تفضل الصوامع العمودية (على هيئة أبراج) نظراُ ً لقلة خطر احتراق الهواء لها.

وبالنسبة لصوامع النوع الخندقي، فإن الهدف الطبيعي منها هو تذبيل مبدئي للمحصول إلى محتوى رطوبة نحو 280 إلى 320 جم/كجم. مكونات سيلاج عشب نموذجي مذبل موضح في جدول 3.19. وعموماً يقيد التخمّر كلما زادت المادة الجافة، و ينعكس هذا في أعلى قيم لكل من pH والكربوهيدرات الذائبة، ومستويات أقل من أحماض التخمّر. ولا يحد التذبيل من حدوث تحلل البروتين، ولكنه إذا تم بسرعة، تحت ظروف

مناخية جيدة، فإن إزالة مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية سوف ينخفض. وتكون كل من تركيزات الطاقة الكلية والطاقة الأيضية طبيعياً مماثلة لما هو في مادة الأصل.

بالرغم من أن التذبيل عادة ينتج عنه زيادة في المأكول من المادة الجافة للسيلاج، فإن أي تأثيرات نافعة فيما يتعلق بتحسن أداء الحيوان، مقارنة بسيلاج جيد الحفظ غير مذبل تكون صعبة في توضيحها. وفي محاولة لتفسير هذه المشكلة فقد أجريت 36 تجربة منسّقة في 1980's شملت ثمانية دول أوروبية. تم إعداد السيلاج من عشب مسلوج مباشرة أو بعد تذبيل لإستهداف مادة جافة نحو 300 إلى 400 جم/كجم. وتم تحضير السيلاج غير المذبل بإضافة إما حمض الفورميك أو حمض الفورميك مع الفورمالين، بينما تم إعداد السيلاج المذبل بدون إضافات في معظم التجارب. ولعل ملخص النتائج الرئيسية لهذه الدراسة مبين في الجدول 4.19.

وكان معامل هضم المادة الجافة أقل إلى حد ما في السيلاج المذبل مقارنة مع غير المذبل ولكن متوسط المأكول من المادة الجافة كان أعلى بشكل حدي. وكانت هذه الزيادة في المأكول غير منعكسة في تحسن الأداء. كما حدثت انخفاضات جوهرية في الأداء بالسيلاج المذبل مصحوبة بمستويات عالية من التلوث أو إطالة فترة التذييل تحت ظروف مناخية قياسية.

ويتلخص الاستنتاج الرئيسي من هذه الدراسة الشاملة في أن النظامين الاثنين للسلوجة أنتجا سيلاجاً بقيمة غذائية مختلفة بعض الشيء شريطة أنها كانت محفوظة بشكل

جيد وأنها أعدّت بدون تلوث للتربة أو فترة ممتدة من التذييل الحقلي. ويبدو أن الفائدة الأساسية من تذبيل المحاصيل قبل سلوجتها نشأت من انخفاض إنتاج الدفق (effluent).

سيلاج رديء الحفظ Badly-preserved silages

يشير مصطلح سيلاج رديء الحفظ إلى السيلاج الذي لا تسود فيه أي من الكلوستريديا أو الانتيروبكتيريا أو كليهما في عملية التخمّر، و لا يشمل هذا ذلك السيلاج الذي قد تلف نتيجة التأكسد. تكون تلك المادة التي تلفت هوائياً عرضة لتصبح سامة ويجب ألا تقدم غذاءً للحيوانات.

كثيراً ما يحضر السيلاج رديء الحفظ من محاصيل إما مسلوجة عند محتوى رطوبة مرتفع أو التي تحتوي مستويات منخفضة من الكربوهيدرات الذائبة في الماء، ويمكن أن تنتج أيضاً لو أن العلف المسلوج تنقصه بكتيريا حمض اللاكتيك. مكونات أثنين من السيلاج رديء الحفظ النموذجي، أحداهما تم إعداده من "cocksfoot" والآخر من

جدول 4.19 متوسط المكونات والقيمة الغذائية في سيلاج أعشاب تم إنتاجه في تجارب منسقة شملت ثمان دول أوربية.

(From Wilkins R J 1986 In Stark B A and Wilkinson J M (eds) *Developments in silage*. Marlow, Chalcombe Publications: 12-19)

مكونات السيلاج	سيلاج غير مذبّل	سيلاج مذبّل
مادة جافة (جم/كجم)	**215**	**348**
pH	**4.0**	**4.4**
حمض اللاكتيك (جم/كجم من الأحماض الكلية)	**760**	**740**
نيتروجين الأمونيا (جم/كجم نيتروجين كلي)	**72**	**96**
أداء الحيوانات:		
أبقـار اللـبن		
معامل هضم المادة الجافة في السيلاج	**0.746**	**0.723**
المأكول النسبي من المادة الجافة	**100**	**104**
إنتاج اللبن (كجم / يوم)	**23.4**	**22.8**
زيادة وزن الجسم (جم/يوم)	**111**	**103**
الأبقـار النامية		
معامل هضم المادة الجافة في السيلاج	**0.698**	**0.678**
المأكول النسبي من المادة الجافة	**100**	**109**
زيادة وزن الجسم (جم/يوم)	**865**	**828**

الصفصفه (lucerne)، كلاهما منخفض في المادة الجافة وفي الكربوهيدرات الذائبة في الماء وهي موضحة في جدول 19 - 5 . عموماً، يتميز سيلاج من هذا النوع بأن له قيم pH عالية، عادة ضمن المدى 5.0 إلى 7.0، ويكون حمض التخمّر الرئيسي الموجود إما الخليك أو البيوتارك. حمض اللاكتيك وبقايا الكربوهيدرات الذائبة في الماء موجودة بتركيزات منخفضة أو معدومة. وعادة ما تكون مستويات نيتروجين الأمونيا أكثر من 200 جم/كجم

من النيتروجين الكلي. تكون هذه الأمونيا التي اشتقت من هدم أحماض أمينيه، مصحوبة بنواتج انحلال أخرى مثل الأمينات وأحماض دهنية كيتونية أخرى (أنظر جدول 1.19).

ويكون الأداء الإنتاجي لحيوانات تستهلك هذا النوع من السيلاج رديئاً كنتيجة لتدني المأكول الطوعي للغذاء ورداءة استغلال نيتروجين السيلاج. ولعل إمكانية الطبيعة السامة للأمينات في السيلاج رديء التخمر بالإضافة إلى احتمالية تلوث اللبن والجبنة بأنواع الكلوستريديا تجعل تجنب إنتاج سيلاج رديء التخمر أمراً لا سبيل إلى اجتنابه.

جدول 5.19 مكونات نوعين من السيلاج رديء الحفظ تم عمله من Cocksfoot أو Lucerne.

(From McDonald P, Henderson A R and Heron S J E 1991 *The biochemistry of Silage*.Marlow, chalcombe Publications:271)

Lucerne	Cocksfoot	
7.0	5.4	pH
131.0	162.0	مادة جافة (جم/كجم)
46.0	37.0	نيتروجين كلي (جم/كجم مادة جافة)
260.0	302.0	نيتروجين البروتين (جم/كجم نيتروجين كلي)
292.0	323.0	نيتروجين الأمونيا (جم/كجم نيتروجين كلي)
لا شيء	4.0	كربوهيدرات ذائبة في الماء(جم/كجم مادة جافة)
114.0	37.0	حمض الخليك (جم/كجم مادة جافة)
8.0	36.0	حمض البيوتاريك (جم/كجم مادة جافة)
13.0	1.0	حمض اللاكتيك (جم/كجم مادة جافة)

السيلاج المعامل بمضافات Additive-treated silages

يمكن أن تصنف مضافات السيلاج إلى نوعين رئيسيين: محفزات التخمّر *fermentation stimulants* كالمواد الغنية بالسكر، ملقحات inoculants وإنزيمات، وهي تشجع تطور بكتيريا حمض اللاكتيك، ومثبطات التخمّر*fermentation inhibitors* كالأحماض والفورمالين والتي تثبط النمو الميكروبي جزئياً أو كلياً.

محفزات التخمّر Fermentation stimulants

الدبس (المولاس)، وهو ناتج ثانوي من صناعات تكرير بنجر السكر وقصب السكر، وقد كان من أحدى الإضافات البدائية للسيلاج والمستعملة كمصدر للسكريات. هذا المنتج الثانوي به محتوى الكربوهيدرات الذائبة في الماء حوالي 700 جم/كجم مادة جافة وقد أتضح أن المضاف زاد محتويات المادة الجافة وحمض اللاكتيك، وعمل على حفض مستويات الرقم الهيدروجيني (pH) والامونيا في السيلاج المعامل. لقد أخذ في الاعتبار في الأصل، وبشرط التقيد بالقواعد العامة في عمل السيلاج، أن التعداد الطبيعي لبكتيريا حمض اللاكتيك في محصول مسلوج يجب أن يكفي لضمان التخمر الملائم. ومن ناحية أخرى، معروف الآن أن المحاصيل المزروعة كثيراً ما تكون مصادر رديئة لبكتيريا حمض اللاكتيك وأن بعض العترات (Strains) من هذه الكائنات ليست ملائمة بشكل مثالي لأغراض السلوجة. عدد من الملقحات "inoculants" التجارية التي تحتوي مستنبتات مجففة بالتجميد من

بكتيريا حمض اللاكتيك متماثلة التخمّر وهي متوفرة حالياً و قد أثبتت البعض منها فعاليتها في تحسين تخمّر السيلاج.

وتعتمد السيطرة الناجحة علي التخمّر باستعمال هذه الملقحات على عدد من العوامل تشمل معدل التلقيح والذي يجب أن يكون على الأقل 10^5 (المفضل الآن 10^6) وحدات مكونة للمستعمرة/جم (cfu/جم) من المحصول الغض، ووجود مستوى كافٍ من الكربوهيدرات القابلة للتخمر. إن سرعة سيادة التخمّر عن طريق بكتيريا homolactic يضمن أكثر كفاءة في استعمال الكربوهيدرات الذائبة في الماء، وعندما تكون مستوياتها في المحصول حاسمة فإنها تزيد فرص إنتاج سيلاج جيد الحفظ. توضيح التأثيرات النافعة لمخلوط من عترتين من بكتيريا حمض اللاكتيك متجانسة التخمّر على تخمّر محصول عشب زوان مسلوج مبينه في جدول 6.19.

عند مقارنته بشاهد من سيلاج غير معامل، فإن المادة الملقحة لها pH أقل وتركيزات أعلى للكربوهيدرات الذائبة في الماء وحمض اللاكتيك وكميات أقل فيما يتعلق بحمض الخليك والايثانول.

وقد كانت هذه التأثيرات النافعة لمعاملة التلقيح ظاهرة أيضاًُ في تحسين أداء الحيوان. وتحتوي بعض مضافات السيلاج التجارية الحالية إنزيمات بمصاحبة لقاح من عترات ملائمة من بكتيريا حمض اللاكتيك، وغالباً ما تكون إنزيمات سيليوليز "cellulases" وهيمسيليوليز" والتي تحلل أغلفة خلايا النبات، وبناءً عليه تحرر سكريات تكون متيسرة

للتخمّر بواسطة بكتيريا حمض اللاكتيك. ويبدو أن الإنزيمات تكون فعالة أكثر عندما تضاف إلى عشب غض مسلوج وعند محتوى رطوبة منخفض.

مثبطات التخمّر Fermentation inhibitors

لقد تم اختبار عدد كبير من المركبات الكيميائية كمثبطات فعالة للتخمّر، إلا أن القليل جداً تمت الموافقة عليه للاستعمال التجاري. ولعل أقدم واحد منها كان عبارة عن مخلوط من أحماض معدنية اقترحه (A.I.Virtanen)، ويشار إلى هذه التقنية بعملية (A.I.V). وكثيراً ما تكون الأحماض هي، الهيدروكلوريك والكبريتيك وتضاف إلى العشب أثناء السلوجة بكمية كافية لخفض قيمة pH إلى أدنى من 4.0.

و كانت هذه العملية شائعة لعدة سنوات في الدول الاسكندنافية، وعندما تطبق بفعالية، فهي طريقة كافية لحفظ العناصر الغذائية. ومن ناحية أخرى، فقد استبدلت الأحماض المعدنية في السنوات الأخيرة بشكل كبير بحمض الفورميك في الدول الاسكندنافية وقد تم قبول هذا الحمض العضوي، والذي يعتبر له تأثير تأكل أقل من الأحماض المعدنية والموافقة عليه كمضاف في عدة أقطار أخرى. في المملكة المتحدة، المنتج التجاري المستعمل بأكثر شيوعاً يحتوي 85 % حمض فورميك ويستعمل للعشب عن طريق حاويات متصلة بحصّاده العشب Forage harvester. يوصى بمعدل استعمال نحو 2.7 كجم/طن محصول غض، وعندما يستعمل للعشب عند هذا المستوى فإنه يخفّض قيمة pH إلى حوالي 4.8.

جدول 6.19 المكونات والقيمة الغذائية لسيلاج عشب تم حقنة ببكتيريا حمض اللاكتيك مقارنة بشاهد غير معامل

(From Henderson A R, Seale D R, Anderson D H and Heron S J E 1990 *Proc. Eurobac. Conf.*, Uppsala, August 1986,pp 93-98)

	غير معامل	ملقح[a](محقون)
مادة جافة (جم/كجم)	168	181
PH	4.6	4.1
نيتروجين كلي (جم/كجم مادة جافة)	33	32
نيتروجين البروتين (جم/كجم نيتروجين كلي)	386	407
نيتروجين الامونيا (جم/كجم نيتروجين كلي)	130	88
كربوهيدرات ذائبة في الماء (جم/كجم مادة جافة)	0	20
حمض الخليك (جم/كجم مادة جافة)	46	30
حمض بيوتاريك (جم/كجم مادة جافة	5	5
حمض لاكتيك (جم/كجم مادة جافة)	59	84
إيثانول (جم/كجم مادة جافة)	13	7
معامل هضم المادة الجافة [b]	0.74	0.77
طاقة أيضية (ميجا جول/كجم مادة جافة)	11.4	12.5
المأكول من المادة الجافة من السيلاج (جم/يوم)	681	792
زيادة وزن الجسم (جم/يوم)	71	129

a (***pediococcus pentosaceus + Lactobacillus plantarum***) (10^6 **cfu**/جرام)،

b باستعمال الحملان

ولا يحدث تثبيط كامل للنمو الميكروبي، ولكن يحدث بعض التخمّر لحمض اللاكتيك. ولكي تثبط بكتيريا حمض اللاكتيك، فإن ذلك يحتاج على معدل استعمال نحو 3-2 مرات من المعدل الطبيعي المستخدم تجارياً، بل ويلزم استعمال كميات أكثر للمحاصيل الرطبة. وقد تم تأكيد التأثيرات النافعة لحمض الفورميك على خصائص المحاصيل الصعبة والمنخفضة في الكربوهيدرات الذائبة في الماء كالبقوليات والأعشاب. كما تم توضيح

التحسينات في أداء الحيوان وفي المأكول من المادة الجافة أيضاً كما هو مبين في الجدول 7.19.

جدول 7.19 المكونات والقيمة الغذائية لسيلاج عشب معامل بمضافين مختلفين.

(From Henderson A R, McDonald P and Anderson D H 1982 *Animal Feed Sci. Technol.*, 7, 303-314)

	غير معامل	حمض فورميك[a]	حمض كبريتيك+فورمالين[b]
مادة جافة (جم/كجم)	181	184	176
pH	3.8	3.7	4.0
نيتروجين كلي (جم/كجم مادة جافة)	27.0	23.0	25.0
نيتروجين البروتين (جم/كجم نيتروجين كلي)	400	490	509
نيتروجين الامونيا (جم/كجم نيتروجين كلي)	65	49	44
كربوهيدرات ذائبة في الماء (جم/كجم مادة جافة)	7	84	81
حمض الخليك (جم/كجم مادة جافة)	34	15	25
حمض بيوتاريك (جم/كجم مادة جافة	0.02	0.03	0.21
حمض لاكتيك (جم/كجم مادة جافة)	98	44	64
إيثانول (جم/كجم مادة جافة)	7	9	18
معامل هضم المادة الجافة [b]	0.74	0.74	0.72
طاقة أيضية (ميجا جول/كجم مادة جافة)	12.1	11.3	10.3
المأكول من المادة الجافة من السيلاج (جم/يوم)	1020	1106	1020
زيادة وزن الجسم (جم/يوم)[c]	200	231	236

a: 3.4 لتر/طن من 85 % حمض الفورميك،

B: 4.6 لتر/طن يحتوي على 15% حمض كبريتيك و 23% فورمالدهايد،

c: حددت باستخدام الأغنام

حديثاً، تم توجيه الاهتمام إلى استعمال الفورمالين، محلول 40 % فورمالدهايد في الماء، والذي يستعمل إما لوحده أو بفاعلية أكثر مع حمض الكبريتيك اوالفورميك. النتائج

النموذجية لمخلوط حمض الكبريتيك/الفورميك والمستعمل على عشب الزوان بمعدل 4.6 لتر/طن مبينه في جدول 7.19 ؛ ويتحد الفورمالدهايد مع البروتين ويحميه من التحلل عن طريق إنزيمات النبات والكائنات الدقيقة في الصومعة وفي الكرش، ثم يتحرر البروتين فيما بعد تحت ظروف حمضية في المعدة الحقيقية ويهضم في الأمعاء الدقيقة. ويعمل الحمض في المخلوط المضاف كمثبط تخمّر، ويحد و بشكل خاص من تطور البكتيريا غير المرغوبة في السيلاج، ولسوء الحظ، فإن مستوى إضافة الفورمالين حرجاً. لو أستعمل عند تركيز عالٍ جداً، ذلك الحين سوف يتأثر النشاط الميكروبي الطبيعي في الكرش وسوف ينخفض كل من معامل الهضم والمأكول من المادة الجافة. ويختلف المستوي الأمثل تبعاً لنوع المحصول ومحتوى البروتين، ولكن يجب ألا يتجاوز 50 جم فورمالدهايد /كجم بروتين.

مراجع الفصل التاسع عشر

1. McDonald P, Henderson A R and Heron S J E 1991 *The Biochemistry of Silage*, 2[nd] edn. Marlow, Chalcombe Publications.
2. Murdoch J C 1989 The conservation of grass. In Holmes W (ed.) *Grass, its Production and Utilisation*, 2nd edn. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
3. Nash M J 1985 *Crop Conservation and Storage*. Oxford, Pergamon Press.
4. Stark B A and Wilkinson J M (eds) 1987 *Development in Silage*, Marlow, Chalcombe Publications.

الفصل العشرون

الدريس، الأعشاب المجففة اصطناعياً ، الأتبان والعصافة

الدريس، الأعشاب المجففة اصطناعياً ، الأتبان والعصافة

Hay, artificially dried forages, straws and chaff

الدريس Hay

إنّ الطريقة التقليدية لحفظ المحاصيل الخضراء هي عمل الدريس، و قد كان نجاح ذلك وحتى الآونة الأخيرة معتمداً على فرصة اختيار فترة مناخ جيد. وقد أدى إدخال تقنيات التجفيف السريع باستخدام ميكنة حقلية وتجهيزات التجفيف في الحظيرة ،من ناحية أخرى، إلى تطور كبير في كفاءة العملية، وخفضت الحاجة إلى الاعتماد على المناخ. بالرغم من أنه في العديد من أقطار أوروبا الغربية، بما فيها بريطانيا، فإن عمل السيلاج قد تجاوز عمل الدريس كنموذج مفضل لحفظ الأعلاف الخضراء، وعلى الرغم مما تقدم فإن عمل الدريس هي العملية الأكثر شيوعاً على وجه العموم.

ولعل الهدف من عمل الدريس هو تقليل محتوى الرطوبة في المحصول الأخضر إلى مستوى منخفض يكفي لتثبيط أثر الإنزيمات النباتية والميكروبية. ويعتمد محتوى الرطوبة في المحصول الأخضر على العديد من العوامل، ولكنه يتراوح من حوالي 650 إلى 850 جم/كجم، وتميل إلى الانخفاض كلما نضج النبات. ولكي نتمكن من تخزين محصول أخضر بشكل ملائم في كومه أو باله (Stack or bale)، يجب أن يخفّض محتوى الرطوبة إلى 150 – 200 جم/كجم. أن عادة حصاد المحصول في حالة النضج عندما يكون محتوى الرطوبة في أدنى مستوى، ومن الواضح أنها طريقة عمل معقولة للتجفيف السريع ولإنتاج أقصى،

ولكن الشيء غير الملائم هو أنه كلما نضج العشب أكثر كلما كانت قيمته الغذائية منخفضة (أنظر الفصل 18).

التغيرات الكيميائية والمفقودات أثناء التجفيف

Chemical changes and losses during drying

تزداد التغيرات الكيميائية المسببة لفقد في العناصر الغذائية النافعة بشكل لا يمكن تداركه خلال عملية التجفيف، ويعتمد مقدار هذه المفقودات وبشكل كبير على سرعة التجفيف.

ويتم التحكم في فقد الماء من الجزء المحصود (swath) في الحقل عن طريق المقاومة البيولوجية الطبيعية للورقة وللجزء المحصود ضد فقد الماء، الظروف المناخية السائدة والمناخ المحلي أثناء الحصاد، والمعاملة الميكانيكية للمحصول أثناء الحصاد وعملية التكييف "Conditioning". تنشأ المفقودات في العناصر الغذائية أثناء عمل الدريس من أثر الإنزيمات النباتية والميكروبية، الأكسدة الكيميائية، الارتشاح، والضرر من الآلات الميكانيكية.

فعل الإنزيمات النباتية **Action of plant enzymes**

إن العشب الطري، عندما يتم تداوله وتقليبه بالآلات وبشكل مناسب في المناخ الدافئ الجاف العاصف سوف يجف سريعاً وسوف تكون المفقودات الناشئة من نشاط الإنزيم قليلة. تشمل التغيرات الرئيسية مكونات الكربوهيدرات الذائبة و النيتروجينية.

وتحدث في المراحل المبكرة من عملية التجفيف تغيرات في مكونات فردية من الكربوهيدرات الذائبة في الماء مثل تكوين الفركتوز من التحلل المائي للفركتانز. وتحدث خلال فترات ممتدة من التجفيف مفقودات كبيرة في السكريات السداسية "hexoses" كنتيجة للتنفس ويؤدي هذا الفقد إلى زيادة في تركيز مكونات أخرى في النبات، خصوصاً مكونات غلاف الخلية والذي ينعكس على محتوى الألياف. وتقوم إنزيمات تحلل البروتين الموجودة في خلايا النبات في حالة الأعشاب المحصودة حديثاً، بالتحليل المائي السريع للبروتينات إلى ببتيدات وأحماض أمينية، ويكون التحلل المائي متبوعاً ببعض الانحلال في أحماض أمينية. وقد تمت مقارنة تأثيرات تذبيل عشب الزوان تحت ظروف تجفيف مثالية وفي بيئة رطبة رديئة في الجدول 1.20.

وتشكل العديد من معدات وطرق المعاملات المستخدمة لتسريع عملية التجفيف في الحقل مكيفات، مثل مجرّشات (crushers، rollers، crimpers) والتي تحطم التركيب الخلوي للنبات وتسمح باختراق الهواء خلال مكان الحصاد بأكثر سهولة. ولعلها طريقة أكثر تقليدية ولازالت تطبق في بعض الأجزاء من العالم، ونذكر منها سويسرا، ايطاليا، ألمانيا والدول الاسكندينافية وذلك بعمل الدريس على حوامل، إطارات أو حوامل ثلاثية الأرجل. ويبين الجدول 2.20 مقارنة المكونات الغذائية بين دريس اعد بواسطة الحوامل الثلاثية وطريقة المعالجة الحقلية التقليدية. ويكون الفرق بين الطريقتين منعكساً في قيم الألياف الخام، البروتين الخام المهضوم، المادة العضوية المهضومة والطاقة الأيضية.

تأثير الكائنات الدقيقة Action of microorganisms

إذا امتد التجفيف بسبب سوء الأحوال الجوية، قد تحدث تغيرات عن طريق البكتيريا والفطريات. يحدث التخمّر البكتيري في العشب المقطوع والذي ترك في الحقل لأيام قليلة، و يؤدي هذا إلى إنتاج كميات قليلة من أحماض الخليك والبروبيونيك. ويكون الدريس المتعفن غير مستساغ وربما يكون ضاراً لحيوانات المزرعة والإنسان بسبب وجود سموم فطرية (mycotoxins). وقد يحتوي مثل هذا الدريس أيضاً على فطريات شعاعية actinomycetes وهي المسئولة عن مرض حساسية يصيب الإنسان والمعروف باسم رئة المزارع "farmer`s lung".

جدول 1.20 التغيرات في المكونات النيتروجينية في عشب الزوان/ البرسيم خلال مراحل مبكرة التجفيف الحقلي

(From Carpintero M C, Henderson A R and McDonald P 1979 *Grass and Forage Sci.*, 34, 311)

	مادة جافة جم/كجم	كربوهيدرات ذائبة في الماء جم/كجم	نيتروجين كلي جم/كجم	مكونات النيتروجين (جم/كجم نيتروجين كلي)		
				نيتروجين البروتين	نيتروجين غير البروتين	نيتروجين الامونيا
عشب طري	173	213	26.6	925	75	1.2
6 ساعات تذبيل (ظروف جافة)	349	215	28.2	876	124	1.1
48ساعة تذبيل (ظروف جافة)	462	203	28.9	835	165	2.6
48 ساعة تذبيل (ظروف رطبة)	199	211	29.9	753	247	2.6
144 ساعة تذبيل (ظروف رطبة)	375	175	31.0	690	310	26.4

جدول 2.20 المكونات (جم/كجم مادة جافة) والقيمة الغذائية لعشب الزوان وللدريس المحضّر منه بواسطة طريقتين في جنوب شرق سكوتلندا

	عشب طري	دريس مجفف على حامل ثلاثي	دريس معالج في الحقل
مادة عضوية	**932**	**908**	**925**
ألياف خام	**269**	**324**	**362**
بروتين خام	**128**	**121**	**99**
بروتين خام مهضوم	**81**	**72**	**47**
مادة عضوية مهضومة	**711**	**614**	**547**
طاقة أيضية(ميجا جول/كجم مادة جافة[a])	**10.7**	**9.2**	**8.2**

[a] تم حسابها من المادة العضوية المهضومة.

الأكسدة Oxidation

عندما يجفف العشب في الحقل، يحدث مقدار معين من الأكسدة، ويمكن ملاحظة الآثار المرئية لهذا في الصبغيات، والعديد منها يتحطم. و تتأثر مادة الكاروتين والتي يتشكّل منها الفيتامين وهي مركب مهم وربما تتناقص من 150 – 200 ملجم/كجم في المادة الجافة للعشب الطري إلى أقل مقدار نحو 2 – 20 ملجم/كجم مادة جافة في الدريس. ويحفظ التجفيف السريع للمحصول بواسطة الحامل ثلاثي القوائم أو التجفيف في الحظيرة الكاروتين بكفاءة أكثر، وقد سجلت مفقودات أقل من 18 % في الدريس المجفف في الحظيرة. من ناحية أخرى، يكون لضوء الشمس تأثير مفيد على محتوى فيتامين D في الدريس بسبب تعرض الارجوستيرول الموجود في النباتات الخضراء للإشعاع.

الارتشاح Leaching

تؤثر المفقودات بسبب الارتشاح عن طريق المطر في المحصول بشكل رئيسي بعد أن يجف جزئياً. ويسبب الارتشاح فقدان المعادن الذائبة، السكريات والمكونات النيتروجينية، مسبباً تركيز في مكونات غلاف الخلية و ينعكس هذا في محتوى ألياف أعلى. وقد تطيل الأمطار فعل الإنزيم داخل الخلايا، وبالتالي يسبب مفقودات أكبر في العناصر الذائبة وربما يشجع أيضاً نمو الفطريات.

الضرر الميكانيكي Mechanical damage

تفقد الأوراق الرطوبة بسرعة أكثر من السوق أثناء عملية التجفيف، بذلك تصبح هشة وتتبعثر بسهولة خلال التداول، و تكون المعاملة الميكانيكية الزائدة مسئولة عن التسبب في فقد هذه المادة الورقية، وحيث أن الأوراق عند مرحلة عمل الدريس هي الأغنى بالعناصر الغذائية المهضومة مقارنة بالسوق، وبذلك ربما يصبح الدريس الناتج منخفضاً في القيمة الغذائية. ويرجح أن يحدث فقدان الأوراق أثناء عمل الدريس وخصوصا في حالة البقوليات مثل الصفصفة (Lucerne). هناك عدد من الآلات الحديثة المتوفرة والتي تخفض المفقودات الناتجة عن طريق تبعثر الورق. إذا تم خدش أو تسطيح العشب، فإن معدلات تجفيف السوق والأوراق تختلف قليلاً. عمل بالات من المحصول في الحقل عند محتوى رطوبة نحو 300 – 400 جم/كجم، يتلوه تجفيف بواسطة تهوية اصطناعية، سوف يخفض المفقودات الميكانيكية بشكل كبير.

مرحلة النمو Stage of growth

إن مرحلة النمو عند وقت القطع هي عامل المحصول الأكثر أهمية والمحدد للقيمة الغذائية في الناتج المحفوظ. وكلما تأخر موعد القطع كلما كان الإنتاج أكبر، وكانت قيمة الطاقة الصافية ومعامل الهضم أقل، ومعدل منخفض في المأكول الطوعي من المادة الجافة. وينتج عن ذلك أنه عندما تكون ظروف التجفيف متشابهةً، فإن الدريس المعد من محاصيل مبكرة الحصاد سوف تكون ذوات قيمة غذائية أعلى من دريس معد من محاصيل ناضجة.

الأنواع النباتية Plant species

لقد تم قبل الآن مناقشة الفروق في المكونات الكيميائية بين الأنواع في الفصل 18، وبصفة عامة يكون الدريس المعد من البقوليات أغنى في البروتين والمعادن من دريس العشب. إن مروج البرسيم النقي لا تزرع عامة لعمل الدريس في المملكة المتحدة، بالرغم من أن العديد من دريس العشب يحتوي كمية معينة من البرسيم. إنّ القضب أو الصفصفة (*Medicago sativa*) هي بقل مهم جداً وهو يزرع كمحصول دريس في العديد من الأقطار. وتكمن قيمة دريس الصفصفة في محتواه من البروتين الخام العالي نسبياً والذي قد يرتفع إلى نحو 200 جم/كجم مادة جافة إذا تم إعداده من حصد المحصول في مرحلة التزهير المبكر.

جدول 3.20 المكونات والقيمة الغذائية للدريس .

(After Watson S J and Nash M J 1960 *The Conservation of Grass and Forage Crops*. Edinburgh, Oliver and Boyd)

	عدد العينات	ألياف خام (جم/كجم)	بروتين خام (جم/كجم)	بروتين خام مهضوم (جم/كجم)	طاقة أيضية[a] (ميجا جول/كجم)
الأعشاب					
عشب نجيلي **Meadow**	**686**	**298**	**113**	**67**	**8.8**
مخلوط من الأعشاب	**68**	**301**	**114**	**63**	**8.6**
نجيل الأصبع **Cocks foot**	**17**	**356**	**82**	**42**	**8.0**
العكرش **Fescue**	**22**	**315**	**90**	**48**	**8.6**
الزوان **Ryegrass**	**39**	**305**	**96**	**48**	**8.9**
التيموثي **Timothy**	**218**	**341**	**77**	**36**	**8.2**
البقوليات					
البرسيم **Clover**	**284**	**319**	**143**	**89**	**8.6**
الصفصفة **Lucerne**	**474**	**322**	**165**	**118**	**8.3**
بيقة (بيقية) **Vetches**	**28**	**277**	**213**	**163**	**9.1**
فول الصويا	**42**	**366**	**156**	**101**	**7.8**
الحبوب					
الشعير	**19**	**265**	**93**	**52**	**8.6**
الشوفان	**48**	**329**	**80**	**41**	**8.5**
القمح	**20**	**268**	**82**	**44**	**7.8**

[a] تم حسابها من قيم مجموع العناصر الغذائية المهضومة (**TDN**).

تحصد الحبوب في بعض الأحيان وهي خضراء وتعد كدريس، ويحدث هذا كثيراً عندما تكون الحبة في المرحلة اللبنية. تكون القيم الغذائية لدريس الحبوب المحصود عند هذه المرحلة من النمو مشابهة للدريس المعد من عشب ناضج، وبالرغم من أن محتوى البروتين يكون بشكل عام أقل. يوضح الجدول 3.20 مكونات عدد من الدريس المعد من أنواع

مختلفة، ولا تعطي هذه القيم دليلاً على مدى القيمة الغذائية. عند اعتبار القيم المتطرفة، فمن المحتمل إنتاج دريس بنوعية ممتازة وبمحتوى بروتين خام مهضوم نحو 115 جم/كجم مادة جافة وقيمة طاقة أيضية تتجاوز 10 ميجا جول/كجم مادة جافة (انظر جدول 4.20).

ومن ناحية أخرى فإن دريساً منخفض الجودة مكوناً من عشب حُصد تحت ظروف جوية سيئة ربما يكون له محتوى بروتين خام سالب وقيمة طاقة أيضية أقل من 7 ميجا جول/كجم مادة جافة؛ وليست مادة من هذا النوع ذات قيمة غذائية أحسن من تبن الشوفان.

جدول 4.20 المكونات (جم/كجم) والقيمة الغذائية للمادة الجافة لعدد 47 دريس عشب[a] أعدت خلال 1963 – 1965 في انجلترا وفي ويلز.

(From ADAS *Science Arm Report* 1972 p 95. London, MAFF, HMSO)

	المدى	المتوسط	الانحراف المعياري
الرماد	117 – 57	80	11 ±
الألياف الخام	412 – 274	335	31±
البروتين الخام	167 – 63	96	22±
البروتين الخام المهضوم [b]	115 – 21	51	–
المادة العضوية المهضومة	711 – 391	563	61±
الطاقة الأيضية (ميجا جول/كجم)	11.5 – 5.7	8.5	1.1±

[a] يتكون أساساً من الزوان ولكن يتضمن بعض التيموثي/ عشب نجيلي والعكرش، [b] تم تقديره من الروتين الخام.

التغيرات أثناء التخزين Changes during storage

لن تتوقف التغيرات الكيميائية والمفقودات المصاحبة لعمل الدريس بالكامل عندما يخزن الدريس في الكومة أوفي الحظيرة، فقد يحتوي المحصول المخزون من 100 إلى 300 جم/كجم رطوبة. ويرجح عند المستويات العالية من الرطوبة أن تحدث تغيرات كيميائية عن طريق نشاط الإنزيمات النباتية والكائنات الحية الدقيقة.

ويتوقف التنفس عند حوالي 40°م، ولكن نشاط البكتيريا المحبة للحرارة قد يتواصل حتى عند حوالي 72°م، وفوق هذه الدرجة فإن التأكسد الكيميائي قد يسبب حرارة إضافية. وتميل الحرارة إلى التراكم في الدريس المخزن في مقادير كبيرة وأخيراً ربما يحدث احتراق(Combustion).

وقد يكون لإطالة التسخين أثناء التخزين تأثير ضار على بروتينات الدريس فتتكون روابط جديدة داخل السلاسل الببتيدية وفيما بينها. وتكون بعض هذه الروابط مقاومة للتحلل المائي بواسطة إنزيمات تحلل البروتين وهذا مما يقلل ذوبان ومعامل هضم البروتينات.

إن حساسية البروتينات للتلف بواسطة الحرارة يعجل وبشكل كبير في وجود السكريات، ويتم التلف عن طريق تفاعلات نوع ميلارد (Maillard-type reactions). وللحرارة تأثير مهم على معدل التفاعل، حيث يصبح المعدل 9000 مرة أسرع عند 70°م مما هو عند 10°م. الحمض الأميني اللايسين حساس وخصوصاً لهذا النوع من التفاعلات. وتكون النواتج عديمة اللون في البداية، ولكنها أخيراً تنقلب إلى البني؛ اللون البني (الداكن)

القاتم للدريس المسخن أكثر مما ينبغي، وأغذية أخرى، قد يعزى في الدرجة الأولى إلى تفاعلات ميلارد (Maillard).

ويعتمد المفقودات في الكاروتين أثناء التخزين وبشكل كبير على درجة الحرارة، فعند أقل من 5°م يرجح أن يكون الفقد قليلاً أو معدوم، بينما في المناخ الدافئ ربما يكون الفقد كبيراً. التغيرات التي تحدث أثناء التخزين تزيد نسبة مكونات غلاف الخلية وتقلل القيمة الغذائية.

المفقودات العامة Overall losses

قد تكون المفقودات العامة أثناء عمل الدريس واضحة تحت الظروف المناخية السيئة. ففي دراسة على ست (6) مزارع تجارية نُفذت طوال فترة ثلاث سنوات في شمال شرق انجلترا عن طريق الإصلاح الزراعي والخدمات الاستشارية (ADAS, Agricultural Development and Advisory Service)، وقد تم تقدير المفقودات في العناصر الغذائية فيما بين الحصاد والتغذية فكان متوسط المفقودات الكلية في المادة الجافة 19.3 %، وقد تتكون من13.7 % مفقوداً حقلياً و 5.6 % مفقوداً في البال (Bales). وقد كان المفقود في كل من المادة العضوية المهضومة والبروتين الخام المهضوم حوالي27 %.

المواد الحافظة للدريس Hay preservatives

إنّ الهدف الرئيسي من استعمال مواد حافظة للدريس هو إمكانية تخزين الدريس عند مستويات رطوبة والتي ستنتج عنها تلف خطير بسبب العفن الفطري عند غياب المادة الحافظة. وقد تم اختبار عدد من المركبات ، ولكن حمض البروبيورنيك وبيزروبيونات الأمونيوم المشتق منة وأقل تطايراً (Ammonium bispropionate) لقيت اهتماماً أكثر. ويكون لدريس محتوى الرطوبة به 300 جم/كجم، معّدل استعمال هذه الكيماويات حوالي 12 كجم/طن، و التي يجب أن تطبق بانتظام. عندما تكون محتويات الرطوبة في الدريس عالية وتصل إلى 400 - 500 جم/كجم يمكن، تخزينها على نحو مناسب، وبعد المعاملة بالبروبيونات، شريطة أن يطبق المضاف بكمية كافية وتوزيع متماثل.

وقد حفّز نجاح معاملة التبن بالأمونيا اللا مائية في الآونة الأخيرة الدراسات على معاملة الدريس بهذا الغاز. وحقنت الأمونيا اللا مائية في أكوام البال من الدريس الرطب والمغطى بالبلاستيك أدت إلى زيادة الثبات، تحت الظروف الهوائية و اللا هوائية، وحسّنت القيمة الغذائية للدريس (ولكن مع شيء من الخطر من تكوّن السموم:انظر أسفل).

الأعلاف المجففة اصطناعياً Artificially dried forages

إن عملية التجفيف الاصطناعي فعّاله جداً، بالرغم من أنها مكلفة، كطريقة لحفظ محاصيل العلف. ونجد في أوروبا الشمالية، أن العشب ومخاليط العشب والبرسيم من أشهر المحاصيل المجففة بهذه الطريقة، بينما في الولايات المتحدة الأمريكية (USA) القضب (الصفصفة) هو المحصول المجفف الأساسي. ويمثل العلف المجفف اصطناعياً في أوروبا، أقل

من 0.5 % من مجمل المادة الجافة العلفية المحفوظة. وحتى في الولايات الأمريكية المتحدة، التي تنتج حوالي 1 طن متري من العلف المجفف اصطناعياً في السنة، فإن نسبة كل العلف المحفوظ تكون أقل من 1 %.

ويتم التجفيف عن طريق تمكين العشب من ملامسه الغازات عند درجة حرارة عالية والتي تختلف تبعاً لنوع المجفف المستخدم. تكون الغازات الحارة غالباً في المعدات من النوع منخفض الحرارة، عند درجة حرارة حوالي 150°م ويختلف زمن التجفيف من حوالي 20 إلى 50 دقيقة معتمداً على تصميم المجفف وعلى محتوى الرطوبة في المحصول.

وفيما يتصل بالمجففات عالية الحرارة، تكون درجة حرارة الغازات مبدئياً في مدى من 500 – 1000°م ويختلف الزمن المنقضي للعبور خلال المجفف من حوالي 0.5 - 2 دقيقة.

في كل الطرق، يتم التحكم في درجة الحرارة وزمن التجفيف بدقة متناهية وبذلك فإن العلف لا يجفف بالكامل مطلقاً، وكثيراً ما يحتوي المنتج النهائي على حوالي 50– 100 جم/كجم رطوبة. طالما بقيت بعض الرطوبة في المادة، ليس من المرجح أن تتجاوز درجة الحرارة في العلف 100°م، ومع ذلك يتضح انه لو تركت المادة ملامسه للغازات الحارة لفترة طويلة فإنها ستتفحم أو حتى تتحول إلى رماد بالكامل.

قد يعامل العلف بعد التجفيف ليلاءِم نوع الحيوان المستهدف. وفيما يتعلق بالخنازير والدواجن، فعادة ما يطحن بالمطرقة ويخزن إما كمسحوق أو كحبيبات، وفيما يخص المجترات، يمكن أن يستخدم العلف المجفف كعلف خشن ذي طول معين أو أكثر شيوعاً يعبّأ

في صور مختلفة توصف بالحبيبات، كتل مستديرة أو رقاقات (wafers). الكريّه عبوة مكونة في مكبس القالب الدوار rotary - die press من علف مجفف مطحون؛ ويتم عمل الكتل المستديرة في مكبس القالب الدوار من علف مقطع ومجفف، بينما يتم تكوين الرقاقة عادة في آلة من نموذج المكبس من علف مجفف إما مطحون أو مقطع ومجفف.

ويُحدد الاستعمال الأكثر انتشاراً للتجفيف الاصطناعي لمحاصيل العلف برأس المال الأولى المرتفع وبارتفاع تكاليف تسيير العملية. لإنتاج طن واحد عشب مجفف من مادة بمحتوى أولى من المادة الجافة 200 جم/كجم يلزم ذلك توفير300 لتراً من زيت الوقود.

القيمة الغذائية Nutritive Value

إن التجفيف الاصطناعي كتقنية حفظ فعال جداً. ولا يرجح أن تتجاوز المفقودات من التداول الميكانيكي والتجفيف مع بعضها 10 %، وبناءً عليه فإن القيمة الغذائية للمنتج المجفف تكون مقاربة للمحصول الطري. وقد وضّحت دراسة حديثة عن العلف المجفف في انجلترا أن عشب الزوان المعمر المحصود مبكراً في موسم النمو أعطي علفاً مجففاً يحتوي على 200 جم بروتين و 270 جم من ألياف المنظف الحمضي لكل كجم مادة جافة، وطاقة أيضية 11.5 ميجا جول/كجم مادة جافة. وكانت عينات الموسم المتأخر مشابهة في محتوى البروتين ولكنها احتوت على ألياف أكثر نسبياً (290 جم/كجم مادة جافة) وطاقة أيضية أقل (10.3 ميجا جول/كجم مادة جافة).

وقد تحدث بعض الأكسدة للكاروتين، خاصة خلال فترات طويلة من تخزين العلف المجفف المعرض للضوء والهواء؛ وقد يفقد مسحوق العشب المجفف ما يقرب من نصف محتواه

من الكاروتين أثناء سبعة أشهر من التخزين تحت الظروف التجارية الاعتيادية. يجب أن يكون محتوى المسحوق عالي الجودة من الكاروتين حوالي 250 ملجم/كجم، على الرغم من أنه تحت ظروف استثنائية تم الحصول على محتوى من الكاروتين وصل إلى 450 ملم/كجم. نظراً لأن تعرض الستيرولات للإشعاع لا يتم أثناء عملية التجفيف السريع، فإن محتوى العلف المجفف من فيتامين D سيكون منخفضاً جداً. وقد دخلت في الأصل معظم المادة المجففة المنتجة من عشب ورقي صغير جداً في علائق الخنزير والدواجن. لهذا السوق، والذي لا يزال أهم واحد، يباع المنتج أساساً لمحتواه من البروتين، الكاروتين والزانثوفيل (اليصفور) Xanthophyll (صبغة مسئولة بدرجة أولى على لون صفار البيضة). الأعشاب المجففة والقضب (الصفصفة) تضمن هي أيضاً في أغذية الخيول والأرانب.

يستخدم العشب المجفف المعد من عشب نامي هو أيضاً في أغذية الحيوانات المجترة، وبدرجة رئيسية لإحلال الحبوب ومركزات البروتين التي تعطي مع السيلاج والدريس. ميزة خاصة لتوليفات العشب مع السيلاج هي ارتفاع المأكول من المادة الجافة الذي يمكن تحقيقه. بالرغم من وجود دليل يشير إلى احتمالية تناقص طفيف في معامل الهضم الظاهري للبروتين الخام أثناء التجفيف، إلا أن قصوراً كهذا يكون متكافئاً أكثر مع زيادة إمداد الأحماض الأمينية للحيوان لأن كميات بروتين أكبر تكون قد تخطّت التحلل في الكرش وهضمت في الأمعاء الدقيقة. وقد وجد في دراسة على الأغنام أن نسبة المأكول من النيتروجين الكلي من الأحماض الأمينية والتي تم امتصاصها ظاهرياً في الأمعاء الدقيقة كانت 0.41 للعشب الطري وكانت 0.51 لنفس العشب بعد التجفيف.

في الولايات المتحدة الأمريكية (USA)، كميات كبيرة من القضب (الصفصفة) مجففة اصطناعياً وبيعت كغذاء مكمل عالي الفيتامين لدجاج اللحم. بما أن هذا الإنتاج موسمي، فإن كميات كبيرة من المسحوق المجفف يجب تخزينها لفترات من ست أشهر أو أكثر، فإنه ما لم تؤخذ احتياطات فقد تكون المفقودات في الكاروتين، الزانتوفيل وفيتامين E عرضه لان تحدث كنتيجة الأكسدة. نظراً لأن معدل الفقد هو عمل درجة الحرارة، فقد كانت مقادير كبيرة تخزن في الماضي تحت التبريد. وقد تم حديثاً، تخزين منتجات مجففة وبشكل ملائم تحت الغاز الخامل، وبهذا يتم التخلص فعلياً من الفقد ألتأكسدي إلى وقت النقل من التخزين. ويضيف العديد من المصنعين أيضاً مضادات الأكسدة (antioxidnts) والتي تحمي المنتج منذ وقت نقله من الغاز الخامل حتى استخدامه.

الأتبان والمنتجات الثانوية المرتبطة Straws and related by-products

تتكون الأتبان من سوق وأوراق النباتات بعد إزالة البذور الناضجة بواسطة الدراس، وهي تنتج من معظم المحاصيل ومن بعض البقوليات. وتتكون المنتجات الثانوية الأخرى (Chaff) من العضافة (husk) أو (glumes) أي القشور الخارجية للبذرة التي فصلت عن الحبة أثناء الدراس. وتُخرج الحصادات والدرّاسات الحديثة الأتبان والمنتجات الثانوية الأخرى مع بعضها، لكن طرق الدراس القديمة (مثلاً الدراس اليدوي) تعطي المنتجات الثانوية الاثنين منفصلة. منتجاً ثانوياً مماثلاً في التركيب للتبن وهو تُفل قصب السكر (sugarcane bagasse)، ولكن تمت الإشارة إلى هذا سابقا (الفصل 18)، وهناك منتجات ثانوية ليفية

أخرى للحبوب النجيلية مشار إليها في الفصل 22. وتعتبر جميع الأتبان والمنتجات الثانوية المرتبطة ليفية إلى حد كبير، معظمها بها محتوى عالٍ من اللجنين (الخشبين)، وجميعها منخفضة في القيمة الغذائية. ويحدد محتواها المرتفع من الألياف استخدامها كما هي مستعملة في غذاء المجترات. على المقياس العالمي، فإن الإنتاج الكلي من الأتبان والمواد المرتبطة يكفي لمواجهة متطلبات الحفظ لجميع الماشية المجترة. من ناحية أخرى، يختلف الاستعمال الفعلي للأتبان كغذاء للحيوان الزراعي بشكل كبير من أحد الأجزاء في العالم إلى الآخر. وينتج مقدار كبير من الأتبان في مناطق مثل براري أمريكا الشمالية والتي بها القليل نسبياً من الحيوانات الزراعية، وأن تكلفة نقل غذاء ضخم منخفض القيمة إلى مناطق أخرى تكون كبيرة جداً لتسمح باستيراده. تنتج أجزاء أخرى من العالم مثل أوروبا، الكثير من الأتبان، ولكن تتوفر بها أعلاف ذات جودة عالية. في العديد من الأقطار الاستوائية وشبه الاستوائية والتي لا تتمكن من استخدام الأرض لإنتاج العلف، تكون الأتبان هي الغذاء الأساسي للحيوانات الزراعية المجترة. محاصيل الذرة، القمح والأرز هي المصادر الرئيسية لتوفير الأتبان في العالم، إلا أنه في المملكة المتحدة يوفر الشعير الكثير من إنتاجها والذي يعادل 15 – 20 % من مجموع إنتاج الأتبان المستخدمة في تغذية الحيوان. عندما يزرع الشوفان للخيول، فإن تبن الشوفان يفضل لتغذية الحيوان، إلا أن التناقص في مساحة هذا المحصول جعلت الأتبان المستخرجة منه أقل أهمية.

تبن الشعير والشوفان — Barley and oat straw

فيما يتعلق بأتبان الحبوب، كان تبن الشوفان شائع الاستعمال في عدة جهات من المملكة المتحدة كغذاء لأبقار التسمين مع الجذور والمركزات، وبكميات محدودة كمصدر الألياف لأبقار اللبن. مع زيادة استخدام حبوب الشعير كغذاء مركز رئيسي لحيوانات المزرعة، خاصة في أوروبا الشمالية، توفرت كميات كبيرة من تبن الشعير وتركّز الاهتمام في السنوات الحديثة على طرق لمحاولة تحسين القيمة الغذائية لهذه المادة منخفضة الدرجة.

وقد يختلف تكوين كلٍ من تبن الشعير والشوفان، بالرغم من أن هذا يتأثر أكثر بمرحلة نضج المحصول عند الحصاد والبيئة مما يتأثر بنوع الصنف المزروع. محتوى البروتين الخام في المادة الجافة لكلا الأتبان منخفضة وعادة بين 20 و 50 جم/كجم وبقيم عالية تم الحصول عليها من محاصيل زرعت تحت ظروف باردة رطبة حيث لم تنضج كلياً. أن انحلال البروتين في الكرش منخفض نسبياً (< 0.4)، حيث أن البروتين غير المنحل يرجح بأنه غالباً غير مهضوم. المكون الرئيسي للمادة الجافة هو الألياف التي تحتوي جزءاً مرتفعاً نسبياً من اللجنين (الخشبين). بواسطة الفحص الكيميائي للمادة الجافة لتبن الشعير، إتضح انه يتكون من حوالي 400 – 450 جم/كجم سيليولوز، 300 – 500جم / كجم هيميسيليولوز و 80 – 120 جم/كجم من اللجنين.

إنّ معامل هضم المادة العضوية لهذه الأنواع من الأتبان نادراً ما يتجاوز 0.5 وقيمة الطاقة الأيضية حوالي 7 ميجا جول/ كجم مادة جافة أو في حالة أصناف الشعير الشتوي، تكون أقل من هذه القيمة. وفيما يتعلق بأجزاء الرماد، فإن السيليكا هي المكون الرئيسي وعامة تعتبر الأتبان من المصادر الفقيرة في العناصر المعدنية الأساسية ويمكن ملاحظة ذلك

من نتائج المقارنات بين الدريس وتبن الشعير المبينة في جدول 5.20. إذا وضعنا مُعامل هضم تبن الحبوب جانباً، فإن العائق الرئيسي هو انخفاض المأكول المتحصل عليه عندما يقدم للحيوانات المجترة. في حين أن البقرة سوف تستهلك نحو 10 كجم من دريس متوسط الجودة، فإنها سوف تأكل حوالي 5 كجم فقط من الأتبان، ويمكن الحصول على تحسين كل من معامل الهضم والمأكول عن طريق إضافة نيتروجين في صورة بروتين أو يوريا.

جدول 5.20 بعض محتويات المعادن في الدريس وتبن الشعير تم الحصول عليها من 50 مزرعة في جنوب شرق اسكوتلندا في الفترة من 1964– 1966.

(From Mackenzie E J and Purves D 1967 *Edinb. Sch. Agric. Exp. Work* p23)

(جم/كجم مادة جافة)	الدريس		تبن الشعير	
	المدى	المتوسط	المدى	المتوسط
كالسيوم	6.3 - 3.0	4.6	4.5 -1.5	3.1
ماغنسيوم	1.4 -0.6	1.1	0.6-0.3	0.5
صوديوم	1.9- 0.2	1.0	1.0-0.1	0.5
ملجم/كجم مادة جافة				
نحاس	10.0-1.5	6.0	4.0 - 0.6	2.4
منجنيز	150-30	80	22.0 -1.8	12.1
حديد	120-30	106	170 -18	78

تبن الذرة Maize straw

تبن الذرة أو (Corn Stover)، لها محتوى عناصر غذائية أعلى وهي مهضومة أكثر من معظم الأتبان الأخرى، و محتوى البروتين الخام بها حوالي 60 جم/كجم مادة جافة وقيمة الطاقة الأيضية حوالي 9 ميجا جول /كجم مادة جافة. ويستعمل غالباً في أمريكا

الشمالية، تبن الذرة كجزء رئيسي في غذاء أبقار اللحم الحوامل الجافة. قد تحوّل الحيوانات إلى حقول ذرة بعد أن يتم حصاد الحبوب أو ربما تقطع بقايا السوق الناضجة (Stovers) ويعمل منها السيلاج وتغذى بطريقة مشابهة لسيلاج الذرة. البديل لذلك، وهو بعد تجفيف بقايا السوق الناضجة (Stovers) في الحقل يمكن أن تكوّم أو تجمع في شكل بالات مستديرة كبيرة.

تبن الأرز Rice Straw

تستخدم هذه الأتبان كغذاء لحيوانات المزرعة في العديد من مناطق الزراعة المكثفة للأرز في العالم، وخصوصاً آسيا. ومحتواه من البروتين وقيمة الطاقة الأيضية مشابه لما هو في تبن الشعير الربيعي. استثنائيا به محتوى مرتفع من الرماد، حوالي 170 جم/كجم مادة جافة، والتي تتكون أساساً من السيليكا. ومحتوى اللجنين بهذه الأتبان، حوالي 60 – 70 جم/كجم وهو مع ذلك أقل من أتبان الحبوب الأخرى، وبعكس غيره من الأتبان الأخرى، تكون السوق فيه مهضومة أكثر من الأوراق.

تبن القمح والزوان Wheat and rye straws

تعتبر أتبان القمح والزوان إلى الآونة الأخيرة، فقيرة في القيمة الغذائية وأن استخدامها كأغذية لحيوانات المزرعة غير منصوح به. مع ذلك، وضح البحث الحديث أن معامل هضم معظم تبن الحبوب يمكن تحسينه وبشكل ملحوظ بمعامله قلوية (انظر أسفل).

Legume straws تبن البقوليات

أتبان اللوبيا والبازلاء أغنى في البروتين، الكالسيوم والماغنسيوم من أتبان الحبوب، وإذا تم حصده بشكل مناسب فهو من الأغذية المفيدة للحيوانات المجترة. ويصعب بسبب سمك سوقة الليفية تجفيفه مقارنه بأتبان الحبوب وكثيراً ما يصبح متعفناً بالفطريات بعد التخزين.

جدول 6.20 أداء الأبقار والأغنام التي أعطيت أغذية احتوت على أعلاف خشنة [a] معاملة وغير معاملة

(From Greenhalgh J F D 1983 *Agricultural progress*, 58,11).

نوع الحيوان	نوع القلوي	هيدروكسيد الصوديوم ($NaOH$)		آمونيا (NH_3)	
	المعاملة	(−)	(+)	(−)	(+)
أبقار	عدد التجارب	17		10	
	العلف الخشن في الغذاء(%)	64		61	
	معامل الهضم[b]	0.56	0.64	0.58	0.63
	المأكول (كجم/يوم[b])	7.2	8.1	6.8	7.8
	الزيادة في الوزن الحي (جم / يوم)	0.62	0.82	0.40	0.71
أغنام	عدد التجارب	10		7	
	العلف الخشن في الغذاء (%)	66		65	
	معامل الهضم[b]	0.57	0.65	0.52	0.62
	المأكول (جم / يوم[b])	994	1259	1156	1147
	الزيادة في الوزن الحي(كجم/يوم)	39	126	73	99

a الأعلاف الخشنة المستخدمة كانت بشكل رئيسي تبن القمح والشعير ولكن تضمنت تبن الأرز ومنتجات ثانوية من الذرة كالسوق والقوالح. تم طحن البعض من الأعلاف الخشنة وتحبيبها.

b من المادة الجافة في مجمل الغذاء.

المعاملة القلوية للأتبان والأعلاف الأُخرى

Alkali treatment of straws and other forages

عندما تعرّض الأتبان إلى قلوي فإن الروابط الاستيرية بين اللجنين والسكريدات المتعددة في غلاف الخلية، السيليولوز والهيميسيليولوز تتحلل مائياً، وبذلك تؤدي إلى أن تصبح الكربوهيدرات متيسرة أكثر للكائنات الحية الدقيقة في الكرش. و استخدمت هذه الحقيقة في البداية لتحسين معامل هضم الأتبان في ألمانيا في بداية 1990`s.

بواسطة معاملة " Beckmann " تنقع الأتبان لمدة 1-2 يوم في محلول مخفف (15 - 30 جم/لتر) من هيدروكسيد الصوديوم، ثم يغسل بالكامل لإزالة القلوي الزائد. و زادت هذه العملية معامل هضم المادة الجافة من 0.4 إلى 0.5 - 0.7 ، بالرغم من أن الغسل قد عمل على إزالة نسبة كبيرة من المكونات الذائبة التي تحتويها الأتبان والتي يحتمل بأنها أكثر هضماً. يتم رش الأتبان المقطعة أو المطحونة في المعاملة المستخدمة حالياً، في خلاط مع كمية قليلة من هيدروكسيد الصوديوم المركز (نموذجياً نحو 170 لتر/طن من الأتبان في محلول نحو 300 جم/لترمن NaOH، و يوفر هذا 50 كجم NaOH). لا يتم غسل المنتج، و ينشأ عن القلوي إنتاج كربونات الصوديوم، والتي تعطي المنتج pH نحو 10 - 11. و تحسن هذه العملية معامل الهضم بمدى أقل نسبياً من عملية beckmann، ولكنها تعطي منتجاً يمكن خلطه بأغذية أخرى وربما يتم تحبيبه أيضاً (Pelleted).

هناك قلوي بديل لهيدروكسيد الصوديوم وهو الأمونيا، والذي يمكن استخدامه للتبن في صورة غير مائية "anhydrous" أو كمحلول مركز، وبما أن كلتا الصورتين متطايرة يجب أن

تنفذ العملية في صهريج مغلق، والذي يكون على هيئة أكوام من بالات التبن الملفوفة في غطاء بلاستيكي. و حيث أن الأمونيا قلوي أضعف من هيدروكسيد الصوديوم فإنها تتفاعل ببطء مع الأتبان؛ يتراوح و الوقت اللازم للمعاملة من يوم واحد، وذلك إذا توفرت حرارة لترفع درجة الحرارة إلى 85°م، أو لمدة شهر واحد في درجات حرارة الشتاء. تضاف الآمونيا بنحو 30–35 كجم/طن من الأتبان، وعند تعرّض الكومة إلى الهواء فإن حوالي ثلثي (3/2) هذه الكمية يفقد عن طريق التطاير، و يرتبط المتبقي مع التبن و قد يرفع هذا محتوى البروتين الخام إلى حوالي 50 جم/كجم. بالإضافة إلى هذه الميزة وبالمقارنة مع هيدروكسيد الصوديوم، فإن الأمونيا لا تترك متبقي من الصوديوم (والذي يرفع تناول الماء من قبل الحيوان).

لقد استخدمت كل من هيدروكسيد الصوديوم والأمونيا على نطاق واسع من الأعلاف رديئة الجودة شملت الأتبان، القشور الخارجية للبذور والدريس. و قد لخّص الجدول 6.20 نتائج 44 تجربة حيث غذيت فيها الحيوانات على أغذية محتويه على نسبه عالية من الأعلاف الخشنة، وكانت إما غير معاملة أو معاملة بهيدروكسيد صوديوم أو أمونيا. و يجب ملاحظة أنه، بالإضافة إلى تحسن معامل الهضم فإن المعاملات القلوية أدت إلى زيادات في المأكول.

و لعل الخطر الناشئ من المعاملة بالأمونيا هو أنها في بعض الأحيان تؤدي إلى إنتاج إميدازولات سامة (toxic imidazoles)، والتي تنشأ من تفاعلات بين الأمونيا والسكريات. الأعلاف المحتوية على سكريات أكثر مما تحتوي عليه الأتبان، مثل الدريس، مرجحه أكثر لتكوين إميدازولات (imidazoles) و يحفز إنتاجها بدرجات الحرارة العالية. السموم

(Toxins) التي تسبب صورة من الجنون (dementia)، و الذي يسمى في بعض الأحيان في الأبقار بالجنون البقري (bovine bonkers). و ثمة مادة كيميائية لمعاملة الأعلاف وهي أسهل في تداولها وعادة أرخص من الأمونيا وهي اليوريا. و تتحلل عند تعرضها لإنزيم urease، اليوريا مائياً لتنتج آمونيا:

$$NH_2 - CO - NH_2 + H_2O \rightarrow 2NH_3 + CO_2$$

طبيعياً تحمل الأتبان البكتيريا التي تفرز إنزيم urease الضروري؛ من المهم أن تكون الأتبان رطبة بما فيه الكفاية (حوالي 300 جم ماء لكل كجم) وذلك لتمكين إحداث التحلل المائي. تغلق الأتبان بعد استعمال اليوريا بنفس الطريقة عند المعاملة بالأمونيا. و لقد أثبت بان إضافة الآمونيا إلى الأتبان من خلال اليوريا معاملة فعالة ومناسبة لتحسين قيمته الغذائية، لكنه ليس فعالاً بشكل منتظم كالأمونيا أو هيدروكسيد الصوديوم.

يمكن أن تستخدم اليوريا أيضاً ببساطة في شكل إضافة للتبن (أي بمعنى أنها تضاف أثناء وقت التغذية). و يقارن الجدول 7.20 تأثيرات إضافة اليوريا عند هذا الوقت (في هذا الظرف التجريبي، عن طريق وضعها في داخل الكرش) مقابل إضافتها إلى الأتبان شهر مقدماً لتوليد الأمونيا. عندما طبّقت منفصلة كل من هذه المعاملات، (الأعمدة 2 و3 مقابل1)، حسنت معامل الهضم والمأكول، وقللت فقد الوزن في الأغنام، ولكن مضاعفة المعاملة (عمود 4) أعطت أفضل النتائج، و قد يكون ذلك بسبب أن

الأتبان المعاملة بالأمونيا في صورة يوريا (عمود3) لم تحافظ على تركيز كافٍ من الأمونيا في الكرش.

جدول 7.20 مقارنة اليوريا المستخدمة بإضافة الأمونيا إلى تبن الأرز مع يوريا مستخدمة كإضافة غذائية للأغنام.

(From Djajanegara A and Doyle P T 1989 *Anim. Feed Sci. Technol.*, 27,17)

معاملة الأتبان [(a)]	بدون معاملة	بدون معاملة	يوريا	يوريا
الإضافة [(b)]	بدون إضافة (1)	يوريا (2)	بدون إضافة (3)	يوريا (4)
معامل هضم المادة الجافة	0.42	0.48	0.54	0.55
المأكول من المادة الجافة (جم/يوم)	682	951	931	1114
تغير الوزن الحي(جم/يوم)	138 –	20 –	10 –	38
نيتروجين آمونيا الكرش (ملجم/لتر)	12	104	57	203

[a] تبن مرشوش بنحو 1لتر/كجم من محلول يحتوي 60جم يوريا، ثم أغلق لمدة 28 يوم.

[b] 11.5 جم يوريا مع 2.35 كبريتات صوديوم/كجم مادة جافة مستهلكة، أعطيت عن طريق وضعها بشكل متواصل في داخل الكرش.

بالإضافة إلى معاملة الأتبان والدريس، قد تستخدم القلويات لأعلاف محاصيل الحبوب كاملة. ذكرت في الفصل 19 سلوجة الحبوب المحصودة قبل النضج. عندما تحصد في وقت متأخر، فإن الحبوب تكوّن الجزء الأكبر (أي 60 %) من المحصول، ومحتواه من المادة الجافة يكون أكبر. و ذكرت الآمونيا أو هيدروكسيد الصوديوم ذكرت معامل هضم الأتبان في المحصول، وتعمل أيضاً كمادة جافة للحد من نمو العفن (الفطريات).

استخدمت مواد كيميائية أخرى بفعالية لتحسين معامل هضم الأتبان تشمل بيروكسيد الهيدروجين القلوي (alkaline hydrogen peroxide) والأحماض المعدنية، ولكن يحتمل أن هذه مكلفة جداً عند استعمالها وتطبيقها عمليا.

الإضافات المستخدمة مع الأتبان Supplementation of straws

جذبت المعاملات الكيميائية للتبن اهتمام قدر كبير من البحث، إلا أن استخدامها عملياً محدد بعض الشيء. لا تملك الأقطار التي من الممكن أن تستفيد منها أكثر مصادر كافية من الكيماويات أو التقنية المطلوبة لتطبيقها. إن أهم أساس للتحسينات في الاستفادة من الأتبان هي استخدام الإضافات. و لعل النوع الأول من الإضافات اللازمة للتبن هو الذي يوفر مصادر كافية من عناصر غذائية للكائنات الحية الدقيقة في الكرش، العناصر الغذائية الحرجة هي النيتروجين والكبريت وقد يكون الفوسفور، الصوديوم والكوبلت.

و في حالة إضافة النيتروجين، فإن الهدف هو توفير تركيز ثابت ومعقول للأمونيا في الكرش، وإذا كان النيتروجين في صورة ذائبة سريعة التحلل، مثل اليوريا، يلزم أخذ الإضافة بكميات قليلة وعلى فترات متكررة. و يمكن توفر العناصر الغذائية التكميلية كمحلول يتم رشه على الأتبان. البديل عن ذلك فهي قد تضاف إلى كميات قليلة من الأغذية المركزة أو تقدم للحيوانات كقوالب غذائية أو لعقات "licks". و ليس هناك أي فاعلية متوافقة في أي من هذه الطرق، إلا أن الأولى تضمن أن الأتبان والإضافات تستهلك مع بعضها.

النوع الثاني من المكمل المطلوب للتبن هو الذي يزود الحيوان ببروتين إضافي لا يتحلل في الكرش (بروتين مهضوم غير متحلل: أنظر الفصل 13). هذا غالباً ما يحفز المأكول (انظر الفصل 17) ويضمن توازناً مناسباً بين البروتين والطاقة المتوفرة لأنسجة الحيوان. و مع ذلك، فإن الإضافات من هذا النوع الثاني، والتي عادة تبني على أساس من

مسحوق السمك أو على مصادر بروتينية نباتية معاملة بشكل خاص، تكون محدودة المصدر ومكلفة، وبناءً عليه فهي غير ملائمة للاستعمال الواسع الانتشار في الدول النامية. و في تلك الدول فهناك الآن اهتمام كبير بتزويد الأتبان بمواد متوفرة محلياً خاصة أعلاف من شجيرات بقولية غنية بالبروتين مثل

(*Gliricidia Sepium*, *Leucaena leucocephala*)، ولهذه الشجيرات قيمة كمصادر من المعادن والفيتامينات، ولكنها أقل فعالية كمصادر للبروتين المهضوم غير المتحلل.

مراجع الفصل العشرون

1. Ho Y H, Wong H K, Abdullah N and Tajuddin Z A (eds) 1991 *Recent Advances on the Nutrition of Herbivores*. Kuala Lumpur, Malaysian Society of Animal Production.
2. Nash M J 1985 *Crop Conservation and Storage*. Oxford, Pergamon Press.
3. Staniforth A R 1979 *Cereal Straw*. Oxford, Clarendon Press.
4. Sullivan J T 1973 Drying and Storing herbage as hay. In Butler G W and Bailey R W (eds) *Chemistry and Biochemistry of Herbage*, Vol. 3. London, Academic Press.
5. Sundstøl F and Owen E (eds) 1984 *Straw and Other Fibrous By-Products as Feed*. Amsterdam, Elsevier.

الفصل الحادي والعشرون

الجذور، الدرنات والنواتج الثانوية المرتبطة بها

الجذور، الدرنات والنواتج الثانوية المرتبطة بها

Roots, tubers and related by-products

إن معظم محاصيل الجذور المهمة المستخدمة في تغذية حيوانات المزرعة هي اللفت (turnips)، الكرنب اللفتي (Swedes) و الشمندر (mangels) وبنجر العلف. و بنجر السكر محصول جذري مهم أيضاً، ولكنه يزرع بالدرجة الأولى لمحتواه من السكر ولا يعطي بشكل اعتيادي إلى الحيوان كما هو. و من ناحية أخرى، فإن اثنين من المنتجات الثانوية من صناعة استخلاص السكر، وهما لب بنجر السكر ودبس (المولاس) البنجر تعتبر مهمة وهي أعلاف حيوانية مفيدة غذائياً.

الدرنات الرئيسية هي البطاطس، الكاسافا Cassava والبطاطا الحلوة، والأخيران محاصيل استوائية.

الجذور Roots

المميزات الرئيسية للجذور هي ارتفاع محتوياتها من الرطوبة (750 - 940 جم/كجم مادة جافة) وانخفاض محتوى الألياف الخام بها (40 – 130 جم/كجم مادة جافة). وتتكون المادة العضوية في الجذور وبدرجة أساسية من سكريات (500 – 750 جم/كجم مادة جافة) وهي ذات معامل هضم عالي (حوالي 0.80 –0.87). و الجذور بشكل عام منخفضة في محتوى البروتين الخام، بالرغم من أنه مثل المحاصيل الأخرى

يتأثر هذا المكون باستعمال الأسمدة النيتروجينة. و مدى تحلل البروتين في الكرش مرتفع – حوالي 0.80 إلى 0.85.

المكونات متأثرة بالموسم وقد يكون الاختلاف كبيراً جداً – تنتج الجذور المنخفضة في المادة الجافة في الموسم الرطب والجذور المرتفعة نسبياً في المادة الجافة في موسم حار جاف. و يختلف التركيب أيضاً تبعاً للحجم، و يشتمل الجذر الكبير على محتويات أقل من الألياف الخام والمادة الجافة، ويكون معامل هضمه أعلى من الجذر الصغير. و يكون الشتاء القارص مصحوباً بمحتوى مادة جافة أعلى وحفظ للجودة (Keeping quality). اعتبرت محاصيل الجذور في الماضي، كبديل للسيلاج في أغذية المجترات إلا أنه قد اتضحت كذلك قيمتها كبدائل للحبوب في الوقت الحالي. و ليست الجذور غذاءً شائعاً للخنازير والدواجن بسبب طبيعتها المائلة، بالرغم من أن التي محتواها أعلى من المادة الجافة مثل بنجر العلف تعطي للخنازير. محاصيل الجذور المدْرجة في جدول 1.21 مصادر فقيرة في الفيتامينات.

تخزّن الجذور عادة وتثبت جيدا بمشدات أثناء الشتاء؛ ومن غير المستبعد أن يكون هناك فقد في المادة الجافة بنحو 10 % خلال هذه الفترة.

جدول 1.21 المكونات النموذجية والقيم الغذائية للجذور، والمنتجات الثانوية للجذور والدرنات

(على أساس المادة الجافة)

	مادة جافة جم/كجم	مادة عضوية جم/كجم	بروتين خام جم/كجم	ألياف خام جم/كجم	تحلل البروتين في الكرش	طاقة ايضية ميجا جول/كجم
الجـذور:						
كرنب لفتي	120	942	108	100	0.85	12.8
لفت	80	922	122	111	0.85	11.2
شمندر	110	933	100	58	0.85	12.4
بنجر العلف	185	925	62	53	0.85	11.8
بنجر السكر	230	970	48	48	0.85	13.7
منتجات ثانوية للجذور:						
دبس البنجر	750	931	40	0	0.80	12.0
لب بنجر السكر (مع الدبس)	860	918	110	132	0.70	12.5
الدرنات:						
(الكاسافا)	370	970	35	43	0.85	12.8
البطاطس	210	957	110	38	0.80	13.3
البطاطا الحلوة	320	966	39	38	-	12.7

[a] المجترات

الكرنب اللفتي واللفت Swedes and turnips

الكرنب اللفتي (*Brassica napus*)، والذي أدخل إلى بريطانيا من السويد منذ حوالي 200 سنة، واللفت (*Brassica campestris*) متشابه جداً كيميائياً، بالرغم من إن اللفت يحتوي مادة جافة أقل من الكرنب اللفتي (جدول 1.21). تكون الأصناف ذات اللب الأصفر من بين نوعي اللفت المزروعة، ذات محتوى مادة جافة أعلى من الأصناف

ذات اللب الأبيض. و تكون قيمة الطاقة الأيضية في الكرنب اللفتي عادة أعلى مما هي في اللفت، أي أنها حوالي 13 و 11 ميجا جول/كجم مادة جافة على التوالي (جدول1.21)، ومن السكريات الرئيسية الموجودة هي الجلوكوز والفركتوز.

قد تكون كل من الكرنب اللفتي واللفت مسئولة عن تلوث اللبن إذا أعطيت لأبقار اللبن عند وقت الحلب أو قبله مباشرة. و يمتص المركب الطيار المسئول عن التلوث من الهواء بواسطة اللبن ولا يمر عبر البقرة.

الشمندر، بنجر العلف وبنجر السكر

Mangels, fodder beet and Sugar beet

الشمندر، بنجر العلف وبنجر السكر جميعها عناصر من نفس النوع، *Beta vulgaris* وللتسهيل فهي تصنف عامة تبعاً لمحتوياتها من المادة الجافة. الشمندر وهو الأقل في محتوى المادة الجافة، الأغنى في محتوي البروتين الخام والأقل في محتوى السكر من الأنواع الثلاثة. و يمكن اعتبار بنجر العلف بأنه واقع بين الشمندر وبنجر السكر فيما يخص محتوى المادة الجافة والسكريات، بينما يعتبر بنجر السكر هو الأغنى في محتوى المادة الجافة والسكريات، بالرغم من أنه الأفقر في البروتين الخام. و تتراوح قيم الطاقة الأيضية على أساس المادة الجافة من حوالي 12 إلى 14 ميجا جول/كجم، و وجدت القيم الأعلى في بنجر السكر، والسكر الرئيسي الموجود في هذه الجذور هو السكروز.

الشمندر (شمندر الماشية) Mangels

الشمندر منخفض المادة الجافة به محتوى مادة جافة بين 90 و 120 جم/كجم، والشمندر ذو المادة الجافة المتوسطة به محتوى مادة جافة نحو 120 إلى 150 جم/كجم. هذه المجموعة عادة أصغر من المجموعة ذات المادة الجافة المنخفضة، ولكن تظهر قمم كبيرة نوعاً ما.

و من المعتاد أن يخزن الشمندر لعدة أسابيع بعد اقتلاعه، نظراً لأن الشمندر المقلوع طرياً له تأثير مسهل خفيف. و يكون التأثير السام مصاحباً لوجود النيتريت (nitrate)، والتي تتحول مع التخزين إلى اسبارجين (asparagine). ليست كاللفت والكرنب اللفتي، و لا يسبب الشمندر تلوث اللبن عندما يعطى لأبقار اللبن.

بنجر العلف Fodder beet

يحتوي بنجر العلف متوسط المادة الجافة من 140- 180 جم/كجم مادة جافة، بينما قد تحتوي الأصناف مرتفعة المادة الجافة نحو 220 جم/كجم. بالإضافة إلى نوع الصنف، فإن محتوى المادة الجافة يتأثر أيضاً بمرحلة النمو عند الحصاد والظروف البيئية. بنجر العلف مصدر فقير في البروتين (جدول 1.21)، وهو غذاء شائع لأبقار اللبن و المجترات النامية في الدانمرك وهولندا. يلزم الاهتمام عند تغذية الأبقار على بنجر العلف مرتفع المادة الجافة، نظراً لأن المأكول الزائد قد يسب اضطرابات هضمية وانخفاض كالسيوم

الدم والنفوق أيضاً. و يحتمل أن تكون الاضطرابات الهضمية مصحوبة بمحتوى سكر مرتفع في الجذور.

و قد أعطى استخدام بنجر العلف كعليقة مالئة لتغذية الخنازير نتائج مُرضية، إلا أن التجارب قد بيّنت أن فترة التسمين أطول قليلاً عند استخدام بنجر السكر، و أنّ معامل هضم المادة العضوية لبنجر العلف عالية جداً (حوالي 0.90).

بنجر السكر Sugar beet

يزرع معظم بنجر السكر للإنتاج التجاري للسكر، بالرغم من أنه يعطي للحيوانات في بعض الأحيان ، خاصة الأبقار والخنازير. و بسبب صلابته فإن البنجر يجب أن ينزع منه اللب أو يقطع قبل التغذية.

و بعد استخلاص السكر في مصانع بنجر السكر، يتم الحصول على اثنين من المنتجات الثانوية المفيدة والتي تعطي لحيوانات المزرعة، وهي لب بنجر السكر والدبس (المولاس).

لب بنجر السكر Sugar beet pulps

عند وصول بنجر السكر إلى المصنع يُغسل، ويقطع إلى شرائح وينقع في ماء، والذي يزيل معظم السكر. و عقب استخلاص السكر فإن المتبقي يسمى لب بنجر السكر. محتوى الماء في هذا المنتج 800 – 850 جم/كجم وقد يباع اللب في الحالة الطرية لتغذية حيوانات المزرعة، غير أنه وبسبب صعوبات النقل كثيرا ما يجفف إلى محتوى رطوبة نحو 100 جم/كجم. بما أن عملية الاستخلاص تزيل العناصر الغذائية الذائبة في الماء، فإن

المتبقي الجاف يتكون أساساً من الكربوهيدرات المتعددة في غلاف الخلية، وبناءً على ذلك يكون محتوى الألياف الخام مرتفعاً نسبياً (حوالي 200 جم/كجم مادة جافة)؛ محتويات البروتين الخام والفوسفور منخفضة، حيث تكون الأولى 100 جم/كجم.

يستخدم لب بنجر السكر بكثرة كغذاء لأبقار اللبن ويعطي كذلك لأبقار التسمين والأغنام. أساساً، و يعتبر اللب غذاءً ليفياً أكثر مما ينبغي بالنسبة للخنازير، إلا أن الدراسات الحديثة أوضحت بأن معامل هضم لب البنجر مرتفع، حتى في صغار الخنازير (نحو 0.80 – 0.85). لقد تمت التوصية بان 15 % من لب بنجر السكر مع المولاس ربما تضمّن في غذاء الخنازير النامية ونحو 20 % في الأغذية المكملة وأغذية الإناث. ويعتبر هذا المنتج غذاء غير ملائم للدواجن.

دبس البنجر **Beet molasses**

يتبقى بعد بلورة وفصل السكر من مستخلص الماء، سائل أسود ثخين يسمى الدبس (molasses)، يحتوي هذا المنتج علي 700 – 750 جم / كجم مادة جافة، والتي منها حوالي 500 جم تتكون من سكريات. محتوى البروتين الخام بالمادة الجافة في الدبس 20 - 40 جم/كجم فقط، معظم هذا في صورة مركبات نيتروجينية غير بروتينية، تشمل أمين البيتين (betaine)، المسؤول عن النكهة السميكة المصاحبة لعملية الاستخلاص.

و دبس البنجر غذاء مليّن Laxative، ويعطى طبيعياً للحيوانات بكميات صغيرة، وعادة يضاف المولاس إلى لب البنجر، ومن ثم يسوّق في شكل لب البنجر المجفف والدبس (dried molassed beet pup). الأخير مشابه في قيمة الطاقة للب البنجر بدون الدبس

ولكنه أقل منه في محتوى الألياف، وهناك منتجات متنوعة متوفرة تحتوي على الدبس. واستخدمت مواد ممتصة مع الدبس تشمل النخالة، حبوب مخمرة (brewers grains)، دقائق الشعير (malt culms)، حشيشة مستهلكة (Spent hops) أو أشنة طحلبية Sphaganum moss. و سوف تعتمد القيمة الغذائية لهذه المنتجات من الدبس على المادة الممتصة المستخدمة.

و يستخدم دبس البنجر بشكل عام، عند مستويات 5 - 10 % ، في تصنيع مركبات من المكعبات والكريات الصغيرة (Pellets). و لا يحسّن الدبس استساغة المنتج فقط ولكنه يعمل كأداة ربط أيضا. و حيث أن دبس البنجر مصدر غني بالسكريات الذائبة ورخيص نسبياً، فإنه يستخدم في بعض الأحيان كمضاف في عمل السيلاج.

دبس القصب Cane molasses

بالرغم من أن قصب السكر ليس محصولاً جذرياً أو درنياً، فإن أحد منتجاته الثانوية هو دبس القصب، وهو غذاء مشابه لدبس البنجر، وعليه فإن استخدامه يوصف في هذا الفصل. في الأقطار الاستوائية وشبه الاستوائية حيث يزرع قصب السكر، و غالباً ما يوجد عجز خطير في أغذية الحيوان المحتوية على السكر أو النشا، وهكذا فإن دبس القصب مصدر مفيد. بالإضافة إلى استخداماته كناقل لمكملات كاليوريا (انظر الفصل 23) ومكيّف لأغذية مركبة (Conditioner)، فإن دبس القصب يستخدم كمصدر للطاقة المكملة للأغذية الخشنة ومباشرة كجزء رئيسي من الغذاء. ففي كوباً مثلاً، تؤسس أغذية أبقار اللحم من دبس القصب يقدم لحد الشبع *ad libitum* يمدها بحوالي 500 – 800

جم/كجم من مجموع المادة الجافة المأكولة، مع بعض العلف ومكمل بروتين (يفضل بروتين منخفض التحلل في الكرش، كمسحوق السمك). و تعطي تلك الأغذية زيادات في الوزن الحي نحو حوالي 1 كجم / يوم، إلا أنها في بعض الأحيان تسبب حالة تعرف في الأبقار بتسمم الدبس (molasses toxicity). و تتميز هذه الحالة بعدم الاتزان والعمى الناتج من تلف في الدماغ مماثل لما يلاحظ في حالة الموت الموضعي لخلايا قشرة الدماغ (cerebro-cortical necrosis). إن منشأه يرجع إلى تخمّر غير اعتيادي لأغذية الدبس في الكرش، والتي تسبب خليطاً من الأحماض الدهنية الطيارة غنية بحمض البيوتاريك وفقيرة في البروبيونيت. كما هو الحال في الموت الموضعي لخلايا قشرة الدماغ، فإن التسمم المذكور قد يكون نتيجة نقص الثيامين (فيتامينB1)، ولكنها قد تكون أيضاً بسبب عجز الجلوكوز الناتج من قلة إنتاج البروبيونت في الكرش. و يتم تجنب هذه الحالة على أحسن وجه عن طريق ضمان أن يتوفر للحيوانات ما يكفيها من الأعلاف جيدة النوعية.

الدرنات Tubers

تختلف الدرنات عن محاصيل الجذور في احتوائها على أي من النشا أو الفركتان fructan بدلاً من السكروز أو الجلوكوز كمخزون كربوهيدرات رئيسي. بها أعلى محتوى من المادة الجافة وأقل محتوى من الألياف الخام (جدول 1.21) وبناءً على ذلك فهي ملائمة أكثر من الجذور لتغذية الخنازير والدواجن.

البطاطس Potatoes

البطاطس (*Solanum tuberosum*) يكون المكون الرئيسي فيها هو النشا، حيث يكون محتوى النشا في المادة الجافة حوالي 700 جم/كجم؛ وهذا الكربوهيدرات موجود في شكل حبيبات وهي تختلف في الحجم ويعتمد ذلك على الصنف (Variety). محتوى السكر في المادة الجافة في البطاطس المقتلعة ناضجة وطرية نادراً ما يتجاوز 50 جم/كجم بالرغم من الحصول على قيم زائدة عن هذا الرقم في البطاطس المخزنة. وتتأثر الكمية الموجودة بدرجة حرارة التخزين وقد سجلت قيم وصلت إلى 300 جم/كجم في بطاطس خزنت عند -1°م.

يتراوح محتوى البروتين الخام في المادة الجافة من حوالي 90 إلى 123 جم/كجم بقيمة متوسطة حوالي 110 جم/كجم، وحوالي نصف هذا المحتوى في صورة مركبات نيتروجينية غير بروتينية. ويسمى أحد هذه المركبات هو شبيه قلوي سولانيدين (Solanidine)، والذي يوجد حراً وكذلك في صورة متحدة من أشباه قلوية – جلايكودية مع مركب السولانين (glyco-alkaloids chaconine and solanine). السولانيدين ومشتقاته سام للحيوانات، و يسبب التهابات في بطانة القناة الهضمية (gastroenteritis). قد تكون مستويات شبه القلوي هذا عالية في البطاطس المعرضة للضوء. و يكون تعرضها للضوء مصحوباً باخضرار نتيجة تكون الكلورفيل "اليخضور"، ولهذا فإن البطاطس الخضراء يجب أن تكون موضع شك. بالرغم من إزالة العروات والقشرة، والتي يتركّز بها السولانيدين، فإن هذا ليس مقترحاً عملياً في تغذية حيوانات المزرعة. الفروع الغضة، حتى ولو كانت بيضاء يرجح كذلك بأن تكون غنية بالسولانيدين وهذه يجب إزالتها واستبعادها قبل التغذية. وجد بان البطاطس

غير الناضجة تحتوي سولانيدين أكثر من الدرنات الناضجة. و يتناقص الخطر من التسمم بشكل كبير عند معاملة البطاطس بالبخار أو عند الطبخ، على أن يتم استبعاد الماء الذي غليت فيه الدرنات. عمل السيلاج أيضاً (السلوجة) تحطم بعض السم وعليه فإن إدخال البطاطس الخضراء نوعاً ما مع العشب يمكن أن يكون مقبولاً. و لعل المجترات أكثر مقاومة للتسمم مقارنه بالحيوانات وحيدة المعدة، و يحتمل أن يكون ذلك نتيجة الهدم الجزئي للسم في الكرش.

إنّ محتوى الألياف الخام في البطاطس منخفض جداً، عادة أقل من 40 جم/كجم مادة جافة، وهذا يجعلها مناسبة بشكل خاص للخنازير والدواجن. و من ناحية أخرى، فإن بروتين البطاطس غير المطهية كثيراً ما يهضم بشكل ضئيل عن طريق هذه الحيوانات، وقد سجلت معاملات منخفضة لهضم البروتين في الخنازير وكانت حوالي 0.23. في تجارب مشابهة على البطاطس المطهية، تجاوزت معاملات هضم البروتين عامة 0.70 ، وقد يعزى هذا الانخفاض في معامل الهضم إلى وجود مثبط للأنزيم المحلل للبروتين في البطاطس الطازجة والذي قد تم تكسيره بالتسخين. و من الممارسات العادية عملية طبخ البطاطس للخنازير والدواجن، بالرغم من أن الطبخ غير ضروري للمجترات، ومن المحتمل أن ذلك بسبب أن المثبط لإنزيم تحلل البروتين يتم تكسيره في الكرش. تكون قيمة الطاقة الأيضية للبطاطس المطهية بالنسبة للخنازير مشابهة لما هو في الذرة الصفراء، حوالي 14- 15 ميجا جول/كجم مادة جافة.

و البطاطس مصدر فقير فيما يتعلق بالمعادن، باستثناء وفرة البوتاسيوم، أما محتوى الكالسيوم فهو بدرجة خاصة منخفض. و محتوى الفوسفور مرتفع نوعاً ما نظراً لأهمية هذا العنصر كجزء متمم لجزئ النشا في البطاطس، إلا أن نحو 20 % منه في صورة فايتيت (Phytates). و قد تحدث تغيرات كبيرة في المكونات أثناء تخزين البطاطس. و لعل التغير الرئيسي هو تحوّل بعض النشا إلى سكر وأكسدة هذا السكر، مع إنتاج ثاني أكسيد الكربون أثناء التنفس (respiration). و يزداد معدل التنفس بزيادة درجة الحرارة، وقد يوجد هناك أيضاً فقد في الماء من الدرنات أثناء التخزين.

البطاطس المجففة Dried potatoes

إن صعوبة تخزين البطاطس على نحو ملائم لأي فترة طويلة من الوقت أدت إلى عدد من طرق التجهيز. و استخدمت العديد من طرق التجفيف، ففي أحدى هذه الطرق تمرر البطاطس المطبوخة خلال اسطوانات ساخنة لإنتاج رقائق بطاطس مجففة. وثمة طريقة أخرى تجفف فيها شرائح الدرنات مباشرة في قنوات غازية، وكثيراً ما يتم طحن شرائح البطاطس الناتجة في شكل مسحوق قبل التسويق. و تكون المنتجات أغذية مركزة مفيدة لكل أنواع الحيوان.

مخلفات تجهيز البطاطس Potato processing waste

هذا المنتج عبارة عن مخلف مجفف تم الحصول عليه عند تجهيز البطاطس لأجل تعليبها وعملها في شكل رقائق للاستهلاك البشري. يتكون من القشرة وقطع صغيرة من درنات طحنت في قوام خشن وجففت، مكوناتها متباينة، و يتراوح محتوى الألياف الخام من حوالي 30 - 70 جم/كجم مادة جافة والبروتين الخام من 70 إلى 140 جم/كجم مادة جافة. و يعتبر هذا المنتج غذاءً مفيداً بكميات صغيرة للخنازير، الدواجن و المجترات بشرط أن يخلو من التلوث بالتربة.

المَنِيهُوت(الكاسافا) Cassava

الكاسافا (*Manihot esculenta*)، وهو معروف أيضاً (monioc)، نبات استوائي شجيري معمر حيث ينتج درنات في قاعدة الساق. و تختلف المكونات الكيميائية لهذه الدرنات تبعاً للنضج، الصنف وظروف الزراعة. و تستعمل درنات الكاسافا في إنتاج نشا التابيوكه (tapioca) للاستهلاك البشري بالرغم من أن الدرنات تعطى أيضاً للأبقار، الخنازير والدواجن. قيمة الطاقة الأيضية فيها مشابهة لما هو في البطاطس إلا أن محتويات المادة الجافة بها أعلى والبروتين الخام أقل (جدول 1.21).

نباتات الكاسافا والدرنات سامة بدرجة معينة نظراً لأنها تحتوي نسباً مختلفة من اثنين من الجلايكوسيدات التي تحتوي على السيانيد Cyanogenetic glucosides وهي

(Lotaustralin ; linamarine)، وهي سهلة التحلل لتعطي حمض هيدروسيانيد (hydrocyanic acid). و في كل الحالات يجب أخذ الاحتياط عند استعمال الدرنات وأينما يزرع النبات فإن هناك طرقاً محلية استنبطت لإزالة الجلايكوسيدات. و شملت تلك المعاملات الطبخ، أو البشر (grating) والكبس أو الطحن إلى مسحوق ومن ثم العصر (Pressing).

و أصبحت كميات كبيرة من مسحوق الكاسافا المجفف (الميبس) متوفرة حديثاً لتغذية حيوانات المزرعة. و يمكن استعمال المسحوق كإحلال جزئي لحبوب الغلال، شريطة إن يصحح عجز البروتين. ثقل الكاسافا (Cassava pomace) وهو المتبقي بعد استخلاص النشا من درنات الكاسافا، وبسبب ارتفاع محتواه من الألياف الخام (حوالي 270 جم/كجم مادة جافة) فإن استخدامه في أغذية الحيوانات غير المجترة يجب أن يحدد.

البطاطا الحلوة Sweet potatoes

البطاطا الحلوة (*Ipomoea batatas*) نبات استوائي مهم جداً حيث تزرع درناته على نطاق واسع للاستهلاك البشري وكمصدر تجاري للنشا. و الدرنات متشابهة في القيمة الغذائية للبطاطس العادية بالرغم من ارتفاع المادة الجافة وقلة محتويات البروتين الخام بها (جدول1.21). تقطع الدرنات الطرية، الزائدة عن الاحتياجات عادةً إلى قطع صغيرة وتجفف تحت الشمس ثم تطحن لإنتاج مسحوق البطاطا الحلوة، وهو غذاء عالي الطاقة

وبمحتوي بروتين منخفض. و لا يحطم التجفيف عن طريق الشمس مثبطات التريبسن التي يعتقد بأنها موجودة في الدرنات، لذلك تحدد المستويات غالباً في أغذية حيوانات المزرعة.

مراجع الفصل الحادي والعشرون

1. Barber W P and Lonsdale C R 1980 By-Products from cereal, sugar beet and potato processing. In *By-Products and Wastes in Animal Feeding*. Reading, British Society of Animal Production, Occasional Symposium Publication No. 3.
2. Gőhl B 1981 *Tropical Feeds*. Rome, FAO.
3. Greenhalgh J F D, McNaughton I H and Thow R F (eds) 1977 *Brassica Fodder Crops*. Edinburgh, Scottish Agricultural Development Council.
4. Kelly P 1983 Sugar beet Pulp- a review. *Animal Feed Science and Technology* **8**:1-8.
5. Nash M J 1985 *Crop Conservation and Storage*. Oxford, Pergamon Press.
6. Preston T R and Leng R A 1986 *Matching Livestock Production Systems to Available Resources*. International Livestock Centre for Africa, Addis Ababa, Ethiopia.

الفصل الثاني والعشرون

حبوب الغلال والمنتجات الثانوية من الغلال

حبوب الغلال والمنتجات الثانوية من الغلال

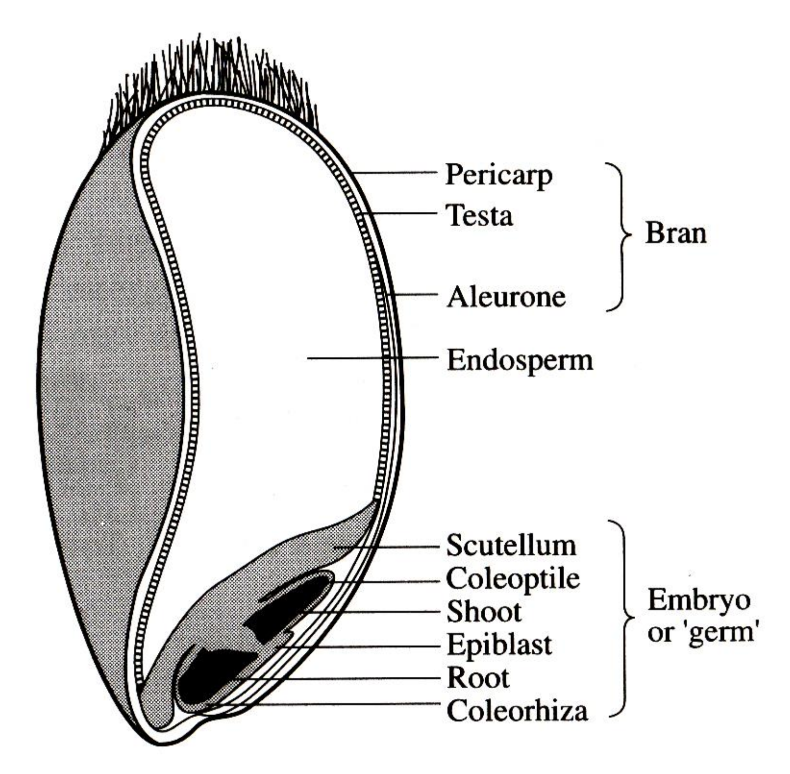
Cereal grains and cereal by-products

الغلال اسم أعطي لتلك العناصر من النجيليات (Gramineae) التي تزرع من أجل بذورها. و حبوب الغلال في أساسها مركزات كربوهيدراتية، و لعل المكون الرئيسي في المادة الجافة هو النشا والذي يتركز في السويداء (endosperm) شكل 1.22.

و يعتمد محتوى المادة الجافة في الحبوب على طريقة الحصاد وظروف التخزين إلا أنه عامة داخل نطاق 800 - 900 جم/كجم.

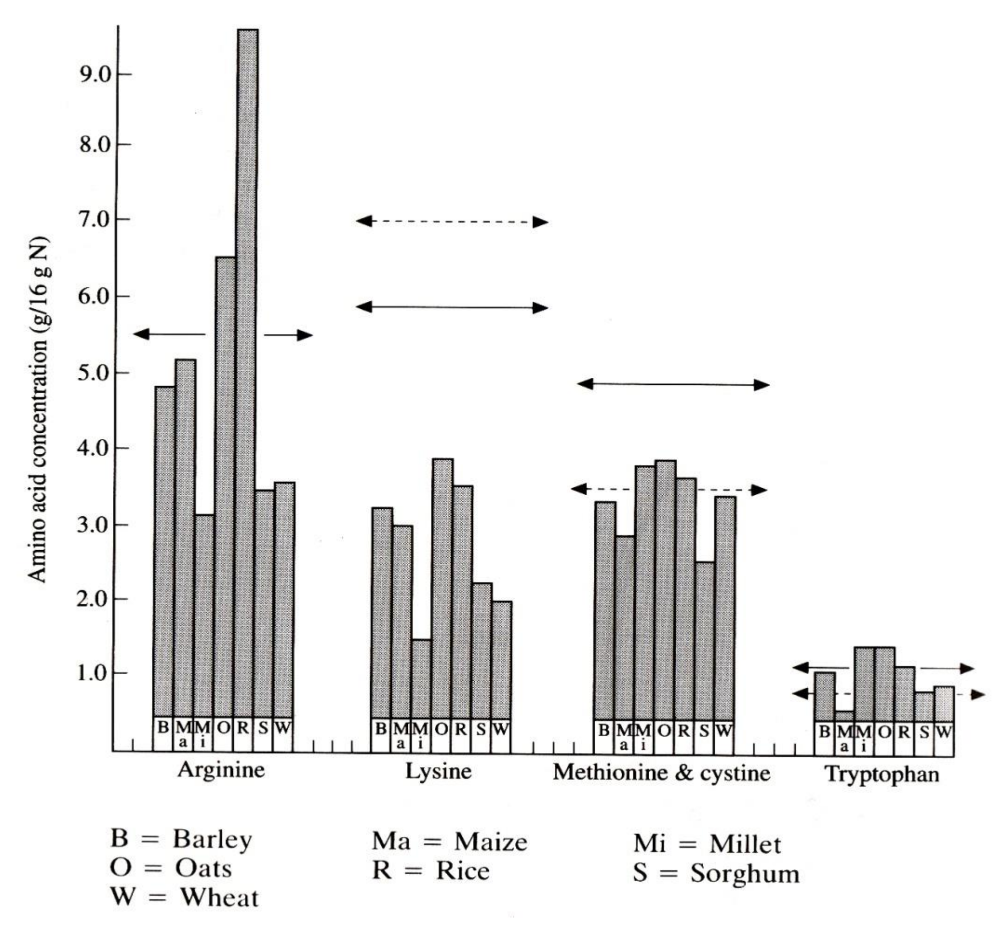
المكونات النيتروجينية منها حوالي 85 – 90 % في صورة بروتينات، وتوجد البروتينات في جميع أنسجة حبوب الغلال، إلا أن تركيزاتها في الجنين وطبقة اليُورون (aleurone) كانت أعلى مما في السويداء النشوية، القشرة (Pericarp) والغلاف (testa).

يزداد تركيز البروتين بداخل السويداء من المركز نحو السطح. و المحتوى الكلي للبروتين في الحبة مختلف جداً؛ وعند التعبير عنه كبروتين خام فإنه يتراوح عادة من 80 إلى 120 جرام/كجم مادة جافة، بالرغم من أن بعض الأصناف من القمح تحتوي مقداراً يصل إلى 220 جم/كجم مادة جافة. بروتينات الغلال فقيرة في أحماض أمينية ضرورية (إجبارية) معينة، خصوصاً اللايسين والميثيونين، ولقد تبيّن أن قيمة بروتينات الغلال لتعزيز النمو في الكتاكيت الصغيرة تكون وفقاً للتسلسل، الشوفان > الشعير> الذرة أو القمح. و فيما يتعلق بالنمو فتعزى القيمة العالية نسبياً لبروتين الشوفان إلى محتواه من اللايسين الأعلى نوعا ما.



شكل 1.22 قطاع طولي في حبة قمح جافة

و لقد تم توضيح هذا في شكل 2.22 الذي يقارن العناصر الرئيسية من الأحماض الأمينية الحدية لعدد من حبوب الغلال. و يختلف محتوى الدهن في حبوب الغلال تبعاً للنوع، فالقمح، الشعير، الزوّان والأرز تحتوي 10 - 30 جم/كجم مادة جافة، الذرة الرفيعة (Sorghum) 30 - 40 جم/كجم مادة جافة والذرة الصفراء والشوفان 40 - 60 جم/كجم مادة جافة.



شكل 2.22 الأحماض الأمينية الضرورية (الإجبارية) الحدّية الرئيسية في حبوب الغلال (جم/ 16 جم نيتروجين). (تشير الخطوط المستقيمة إلى الاحتياجات للكتاكيت: الخطوط المنقطعة للخنازير النامية).

و يحتوي الجنين على زيت أكثر من السويداء، ففي القمح مثلاً، الجنين به 100 - 170 جم زيت /كجم مادة جافة بينما تحتوي السويداء 10 - 20 جم فقط/كجم مادة جافة، و استثناء من ذلك فإن الأرز غني بالزيت، محتوياً ما مقداره 350 جم/كجم مادة

جافة. زيوت الغلال غير مشبعة، الأحماض الدهنية الرئيسية هي اللينوليك (linoleic) والاوليك (Oleic)، ولهذا السبب تميل هذه الزيوت لأن تصبح متزنخة سريعاً، وكذلك تنتج دهناً طرياً بالجسم في الخنازير والدواجن.

يكون محتوى الألياف الخام أعلى في الحبوب المحصودة كما في الشوفان أو الأرز والتي تحتوي قشرة خارجية (husk) أو غلافاً (hull) تكونت من التحام العصافات (glumes) (حرشفة palea وقنابة سفلى lemma)، وأقل محتوى ألياف في الحبوب المجردة، القمح والذرة. القشرة husk و لها تأثير مخفف للّزوجة على الحبة ككل وبشكل نسبي تقلل قيمة الطاقة. و عند حصاد الحبوب، نجد أن الشوفان له قيمة طاقة أيضية أقل والذرة لها القيمة الأعلى، حيث تكون القيم الخاصة (ميجا جول/كجم مادة جافة) بكل من الدواجن حوالي 12 و 16 وللمجترات 12 و 14.

و يوجد النشا في سويداء (الإندوسبيرم) الحبوب في شكل حبيبات، والتي يختلف حجمها وشكلها تبعاً للأنواع المختلفة. و يتكون نشا الحبوب من حوالي 25 % أميلوز وحوالي 75 % أميلوبكتين، على الرغم من أن النشا الشمعي يحتوي كمية كبرى من الأميلوبكتين.

الحبوب كلها بها نقص في الكالسيوم، تحتوي على أقل من 1 % جم/كجم مادة جافة. محتوى الفوسفور هو الأعلى مكوناً 3 - 5 % جم/كجم من المادة الجافة، إلا أن جزءاً من هذا الفوسفور يوجد كحمض فايتيك (phytic acid) والذي يتركز في طبقة اليورون (eleurone). فايتات الحبوب لها خاصية كونها قادرة على ربط الكالسيوم الغذائي

ومحتمل الماغنسيوم كذلك وبناءً عليه تمنع امتصاصها من القناة الهضمية؛ فايتات الشوفان أكثر فعالية من هذه الناحية عند مقارنتها بالفايتات الموجودة في الشعير، الزوّان او القمح. حبوب الغلال بها نقص أيضاً في فيتامين D، وباستثناء الذرة الصفراء، في حالة المواد التي تشكل فيتامين A. الحبوب مصادر غنية بفيتامين E والثيامين (B1) ولكن بها محتوى قليل من الرايبوفلافين (B2). معظم الفيتامينات مركزة في طبقة اليورون (aleurone) وفي جنين الحبة.

تعتمد العجول، الخنازير والدواجن على حبوب الغلال كمصدرها الرئيسي من الطاقة، وعند مراحل معينة من النمو فإن ما يصل إلى 90 % من غذائها قد يتكون من الحبوب ومن منتجات ثانوية من الحبوب. و تشكل الحبوب بوجه عام النسبة الأقل في مجموع غذاء المجترات، مع أنها المكون الرئيسي في العليقة المركزة.

الشعير

Barley

كان الشعير (*Hordeum sativum*) دائماً من الحبوب الشائعة في تغذية حيوانات المزرعة وخاصة الخنازير. و تحاط البذرة في معظم أنواع الشعير (kernel) بقشرة وهي تكوِّن حوالي 10 - 14 % من وزن الحبة.

و قيمة الطاقة الأيضية بها (ميجا جول/كجم مادة جافة) حوالي 13.3 للمجترات وحوالي 13.2 للدواجن وقيمة الطاقة المهضومة للخنازير 15.4. يتراوح محتوى البروتين الخام في حبة الشعير من حوالي 60 إلى 160 جم/كجم مادة جافة بقيمة متوسطة حوالي 120

جم/كجم مادة جافة. كما هو الحال في جميع حبوب الغلال فإن البروتين يكون منخفض الجودة، ويكون به نقص وخصوصاً في الحمض الأميني اللايسين (Lysine). لقد تم إنتاج طفرات من الشعير عالية اللايسين من قبل المتخصّصين في تربية النبات ويتضح التفوق في القيمة الغذائية لمثل هاتين الطفرتين (Notch1) و(Notch2) في جدول 1.22. و لسوء الحظ فإن إنتاج الحبوب قد تناقص مع العديد من هذه الطفرات بمعدل أقل (حوالي 30 %) من الأنواع الأصلية وربما تتناقص محتويات النشا. محتوى الليبيد في حبوب الشعير منخفض، عادة أقل من 25 جم/كجم مادة جافة. و قد كان مدى مكونات المادة الجافة لعدد 179 عينة من حبوب الشعير التي حصدت في ويلز Wales كما هو مبين في الجدول 2.22.

جدول 1.22 المكونات والقيمة الغذائية لعينات حبوب كاملة من الشعير من النوع الأصلي NP-113، وأنواع طفرة Notch1 و Notch2.

(After Balaravi S P *et al.* 1976 *J. Sci. Fd. Agric.*, 27,545)

	NP-113	Notch1	Notch2
البروتين (جم/كجم)	117	157	146
اللايسين (جم/16جم نيتروجين)	3.88	4.00	3.96
النشا (جم/كجم)	662	396	414
الألياف الخام (جم/كجم)	70	104	128
القيمة الحيوية [(a)]	0.76	0.86	0.88
صافي الاستفادة من البروتين[(a)]	0.66	0.68	0.73

[a] حددت على الجرذان

جدول 2.22 مكونات المادة الجافة لعدد 171 عينة من حبوب الشوفان وعدد 179 عينة من حبوب الشعير زرعت في مقاطعة ويلز، 1961– 1963.

(After Morgan D E 1967 and 1968 J. Fd. Agric., 18, 21; 19,393)

	الشوفان			الشعير		
	المدى	المتوسط	معامل الاختلاف	المدى	المتوسط	معامل الاختلاف[a]
المكونات التقريبية (جم/كجم)						
البروتين الخام	145 -72	107	13.4	153 - 66	108	15.7
الألياف الخام	179 - 80	125	13.6	73 - 38	56	12.5
مستخلص الايثير	80 - 9	52	20.2	32 -11	19	15.8
الرماد	41 - 22	31	8.7	42 -17	25	12.4
المعادن الكبرى (جم/كجم)						
الكالسيوم	1.8 -0.7	1.1	18.2	1.6 - 0.5	0.8	25.6
الماغنيسيوم	1.8 -1.0	1.3	13.1	1.6 - 0.9	1.2	8.3
البوتاسيوم	6.5 -3.1	4.7	17.0	6.3 -3.5	4.9	12.2
الصوديوم	0.6 -0.04	0.2	47.8	0.4 -0.06	0.2	41.2
الفوسفور	5.9 -2.9	3.8	10.5	5.2-2.6	3.8	11.8
الكلور	1.8 - 0.4	0.9	33.3	2.2-0.8	1.4	21.4
المعادن الصغرى (جم/كجم)						
النحاس	8.2 - 3.0	4.7	17.0	19.8 -3.5	6.6	27.3
الكوبلت	0.17-0.02	0.05	53.0	0.18 -0.02	0.07	48.6
المنجنيز	79-22	45	28.9	47 -5	16	31.3
الزنك	70-21	37	27.0	77 -19	37	77.0
الطاقة(ميجا جول/كجم)						
طاقة ايضية للدواجن	14.4 - 9.5	12.1	7.2	15 -12.9	14.1	2.6

[a] الانحراف المعياري كنسبة من المتوسط

يشكل الشعير في العديد من مناطق العالم، وخصوصاً في المملكة المتحدة، العلف المركز الرئيسي في أغذية الخنازير و المجترات. و يتم في نظام إنتاج اللحم من الشعير (barley beef system) تسمين أبقار اللحم بتغذيتها على أغذية مركزة تتكون من حوالي 85 % شعير مُرقق (bruised) وبدون استخدام أعلاف خشنة. و يتم عادة في هذه العملية معاملة الشعير بحيث تبقى القشرة في جزء واحد وفي نفس الوقت تكون السويداء (endosperm) مكشوفة، ولقد تم الحصول على أحسن النتائج بواسطة عمل رقائق من الحبوب عند محتوى رطوبة نحو 160- 180 جم/كجم. إن تخزين شعير بمحتوى رطوبة مرتفع من هذا النوع قد يعتبر مشكلة بسبب احتمالية نمو الفطر (العفن)، ويمكن الوصول إلى حفظ ملائم للحبوب الرطبة فيما لو خزنت في ظروف لا هوائية. البديل الإضافي أو الوقائي هو معاملة الحبوب بمثبط العفن مثل حمض بروبيونيك. مصادر خطر معينة، مثل النفاخ (bloat)، يمكن مواجهتها بأغذية عالية المركزات تعطي للمجترات ومن الضروري أن تدخل هذا النوع من التغذية تدريجياً على فترة من الزمن. من المهم أن يكون مركز البروتين مضافاً له فيتامين A وفيتامين D ومعادن يتم استخدامه كإضافات للأغذية العالية في الحبوب من هذا النوع. و غالباً يجب أن ينزع حسك الشعير قبل تقديمه للدواجن، وإلا قد تحدث اضطرابات هضمية.

المنتجات الثانوية للشعير Barley by-products

منتجات ثانوية من صناعة البيرة (شكل 3.22)

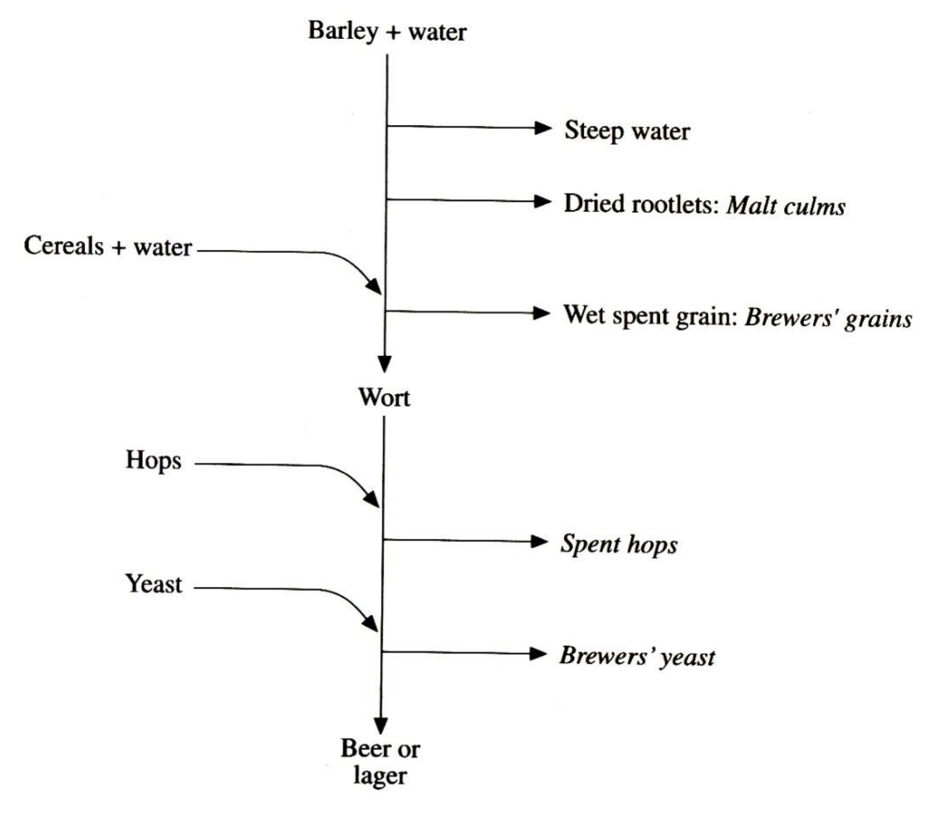
أثناء عمل البيرة (الجعة)، ينقع الشعير أولاً ويترك لكي ينبت، وخلال هذه العملية والتي تبقى مستمرة حوالي ستة أيام، يكون هناك تحسن في اكتمال نظام إنزيم التحلل المائي للنشا إلى دكسترينات (dextrins) ومالتوز. مع أن التفاعلات الإنزيمية قد بدأت في هذا الإنبات أو عملية الملت (malting)، إلا أن التحول الرئيسي لنشا الحبة إلى مالتوز وسكريات أخرى يحدث أثناء العملية التي تليها مباشرة، وتعرف بالترقيق (mashing). بعد الإنبات ولكن قبل الترقيق، تجفف الحبة أو الملت ويجب أخذ الاحتياط لكي لا تثبط الإنزيمات. تُزال نموات البراعم (Sprouts) وتباع كثقل الملت

(malt culms) أو (Coombs). يرقق (يجرش) الملت المجفف وقد تضاف إليه كميات قليلة من حبوب أخرى كالذرة أو الأرز، يُرش الماء على المخلوط وترتفع درجة حرارة الجريش إلى حوالي إلى 65ºم.

إن الهدف من الجرش " mashing " هو توفير ظروف مناسبة لنشاط الإنزيمات على البروتينات والنشا، الأخير يتحول إلى دكسترينات، مالتوز وكميات قليلة من السكريات الأخرى. و يتم تصفية " ارتشاح" السائل السكري أو نقيع الملت (رشاحة الملت، wort) بعد اكتمال عملية الجرش تاركة بيرة أو جعة الحبوب كمتبقٍ أو راسب.

و تباع جعة الحبوب رطبة أو مجففة كغذاء لحيوانات المزرعة. النقيع (أو رشاحة الملت) يُغلى مرة أخرى مع hops، والتي تعطيه نكهة ورائحة مميزة؛ غالباً ترشح (hops) وبعد التجفيف تباع كمستهلكة (Spent hops). بعد ذلك تُخمر رشاحة الملت مع الخميرة لعدة أيام، و تتحول خلال ذلك الوقت معظم السكريات إلى كحول وثاني أكسيد الكربون. و يتم رشح الخميرة وتجفيفها ثم تباع كخميرة بيرة (جعة).

بناءً على ذلك فإن المنتجات المتحصل عليها من صنع البيرة هي ثقل الملت (malt culms)، الحبوب المخمّرة (brewer`s grains) ، (spent hops) وخميرة البيرة brewer`s yeast.



شكل 3.22 عمل البيرة ومنتجاها الثانوية

ثفل الملت Malt culms

يتكون ثفل الملت من الساق الجنينية (Plumule) والجذير الجنيني (radicle) في الشعير، وهي غنية نسبياً بالبروتين الخام (حوالي 280 جم/كجم مادة جافة)، وتنتج أيضاً كمنتج ثانوي في صناعة التقطير (انظر أسفل). و من ناحية أخرى، فهي ليست أغذية

مرتفعة الطاقة، وبسبب طبيعتها الليفية فإن استعمالاتها لتغذية المجترات والخيول تكون محددة بشكل عام. و ليست جودة البروتين في ثفل الملت جيدة بالإضافة إلى ارتفاع محتوى الألياف و هذا ما يحدد استعمالها للخنازير في أغذية إناث الخنازير الحاملة أو استعمالها بمستويات منخفضة في الأغذية الناهية "المكملة". ثفل الملت له نكهة لاذعة بسبب وجود الحمض الأميني أسباراجين (Asparagine)، والذي يشكل حوالي ثلث البروتين الخام. و من ناحية أخري، عندما يخلط بأغذية أخرى فإنه يتم تقبله بشكل سريع بواسطة الأبقار وقد تم إدخاله في المخاليط المركزة عند مستويات وصلت إلى 500 جم/كجم. كريات بقايا الملت منتج ثانوي له علاقة بثفل الملت، وهو يشمل ثفل الملت ومواد أخرى مفصولة بغربلة الملت. المنتجات هذه بها ألياف أقل ومحتوى مرتفع من النشا مقارنة مع ثفل الملت العادي، مما يعطي طاقة أيضية أعلى نوعاً ما للمجترات

(11.5 مقابل 11.0 ميجا جول /كجم مادة جافة) وبروتين خام أقل (220 مقابل 280 جم/كجم مادة جافة).

حبوب البيرة Brewer`s grains

تتكون حبوب البيرة أو ثفل البيرة (draff) من مخلفات غير ذائبة تترك بعد إزالة نقيع الملت. بالإضافة إلى مخلفات الشعير غير الذائبة فقد يحتوي هذا المنتج فضالات الذرة والأرز، ولهذا السبب فإن مكونات المنتج قد تكون مختلفة جداً كما هو مبين في الجدول 3.22.

تحتوي حبوب البيرة الطرية حوالي 700- 760 جم ماء/كجم وربما تعطي للأبقار، الأغنام والخيول في هذه الحالة الطرية أو بدلاً عن ذلك تحفظ كسيلاج. و تنتج أكثر حبوب البيرة في الصيف مقارنة بالشتاء، وبناء عليه تكون عملية تحضير السيلاج هي الشكل الشائع للتخزين بغرض التغذية الشتوية. و يمكن أن يجفف المنتج الرطب إلى حوالي 100 جم ماء/كجم ويباع كحبوب بيرة مجففه. قابلية التحلل في الكرش لبروتين المنتج المجفف حوالي 0.6 مقارنه بحوالي 0.8 في الشعير الأصلي. حبوب البيرة مصدر مركز للألياف المهضومة ومفقودات الطاقة من الكرش في شكل ميثان أقل مما في الأغذية مرتفعة النشا. و تكون هذه الأغذية مرتفعة في الفوسفور ولكنها منخفضة في المعادن الأخرى.

كانت حبوب البيرة في الغالب غذاءً شائعاً لأبقار اللبن، إلا أنها ذات قيمة بسيطة للدواجن، وهي ليست مناسبة جداً للخنازير باستثناء إناث الخنازير الحاملة، والتي لها قدرة تناول عالية وتخمّر نشط في القناة الهضمية الخلفية والتي تمكنها من استغلال هذه المادة.

جدول 3.22 القيمة الغذائية لحبوب البيرة الطرية [a]

(From Barber W P and Lonsdale C R 1980 Occasional Publication No. 3. *British Society of Animal Production*, Reading pp 61-69)

	المتوسط	المدى
مادة جافة (جم/كجم)	263	300 – 244
بروتين خام(جم/كجم مادة جافة)	234	262 – 184
ألياف خام (جم/كجم مادة جافة)	176	204 – 155
مستخلص الايثر (جم/كجم مادة جافة)	77	99 – 61
الرماد الكلي (جم/كجم مادة جافة)	41	45 – 36
مادة عضوية مهضومة (جم/كجم مادة جافة)[b]	594	643 – 552
طاقة أيضية (ميجا جول/كجم مادة جافة)[c]	11.2	12.0 –10.5
بروتين خام مهضوم (جم/كجم مادة جافة)[c]	185	213–139

a نتائج 7 عينات أنتجت من مصادر واسعة الاختلاف في المملكة المتحدة،

b معملياً ***In Vitro*** ، **c** تم قياسها على أغنام.

نباتات منكهة مستهلكة **Spent hops**

مجفف النباتات المنكهة المستهلكة منتج ليفي ويمكن مقارنته بالدريس الرديء في القيمة الغذائية، ولكنه أقل استساغة، ويحتمل أن يكون ذلك بسبب نكهتها اللاذعة. و هذا المنتج نادر الاستعمال كغذاء للحيوانات حالياً، و يباع معظمه لاستعماله كسماد.

خميرة البيرة المجففة **Dried brewers yeast**

الخميرة المجففة عبارة عن مركّز يحتوي على حوالي 420 جم بروتين خام/كجم، و هو مهضوم بدرجة عالية، وربما يستخدم لجميع أنواع حيوانات المزرعة. و البروتين مرتفع إلى حد ما في قيمته الغذائية وهو مفضّل بشكل خاص في تغذية الدواجن والخنازير.

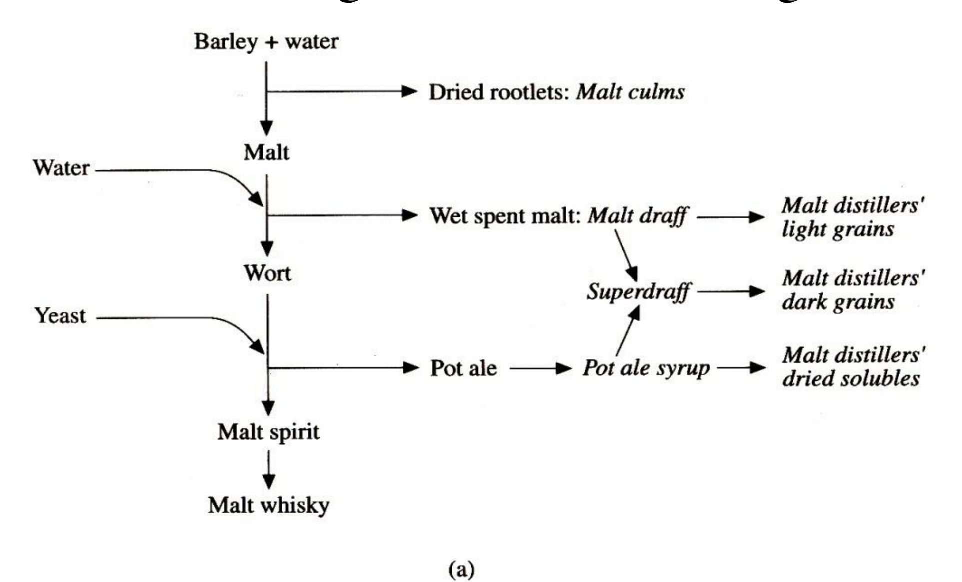
و يعتبر هذا المنتج كمصدر ذي قيمة لمجموعة فيتامين B المركب، وهو غني نسبيا بالفوسفور ولكن محتواه من الكالسيوم منخفض. و سيتم مناقشة خمائر أخري متوفرة حالياً كمركّزات بروتينية في الفصل 23.

المنتجات الثانوية من صناعات التقطير

By-products of the distilling industry

قد تستخلص بعض المواد الذائبة عند التقطير، كما في عمل البيرة، أو في كل الأشياء المتخمرة، حيث يقطر الكحول جانباً. و يباع المتبقي بعد الترشيح كحبوب تقطير رطبة أو مجففة. تكون نواتج تقطير بعض المشروبات الكحولية في اسكتلندا، إما من نوع

الملت أو الحبوب (شكل 4.22). و يستخدم الأول ملت الشعير فقط بينما يستخدم الأخير مخلوطاً مع الحبوب ربما تشمل الشعير، الذرة، القمح والشوفان.



(a)

Barley + water
Dried rootlets: *Malt culms*
Malt
Cooked maize, wheat etc., and water
Wet spent grains: *Grain draff*
Wort
Grain distillers' dark grains
Yeast
Spent wash
Spent wash syrup
Grain spirit
Grain whisky

شكل 4.22 (أ) عملية تقطير الملت ومنتجاتها الثانوية. (ب) عملية تقطير الحبوب ومنتجاتها الثانوية.

مستقطرات الحبوب (الثفل) Distillers grains (draff)

يتضح بجلاء أن مكونات مستقطرات الحبوب سيعتمد على موادها الأساسية وقد يختلف بشكل كبير (جدول 4.22). كما أنّ الملت المستقطر من الحبوب أقل اختلافاً في التركيب. حبيبة مستقطرات الحبوب (grain distillers grains) بها محتوى طاقة أعلى من ملت الحبوب المستقطرة (malt distillers grains) ولكنها منخفضة في المعادن الذائبة، الصوديوم والبوتاسيوم، وكذلك في الكالسيوم والماغنيسيوم. و كما هو الحال في حبوب البيرة فإن الحبوب المستقطرة غذاء مفيد لأبقار اللبن وعادة يتم سلوجتها للتغذية الشتوية.

و يحتجز معظم الليبيد في الحبة الأصلية في هذا المنتج الثانوي وبه محتوى عالٍ من الأحماض الدهنية غير المشبعة والتي تخفض معامل الهضم الميكروبي للألياف في الكرش وتضعف المأكول. و يمكن تحسين معامل الهضم والمأكول عن طريق إضافة كربونات الكالسيوم والتي تكوِّن صابون الكالسيوم غير ذائب وهو في صورة أملاح الأحماض الدهنية غير المشبعة، وبالتالي يتغلب على تأثيراتها على ميكروبات الكرش. و يحدد انخفاض محتوى المادة الجافة وارتفاع محتوى الألياف إضافة الحبوب المستقطرة في أغذية الخنزير على الإناث الحوامل فقط. و لقد توقف إنتاج الحبوب المستقطرة المجففة (حبوب مستقطرة خفيفة) حالياً وذلك بسبب ارتفاع تكاليف التجفيف.

بعد تقطير الكحول حالياً جانباً، فإن السائل (الغسيل المستهلك، في الحبوب المستقطرة وفضاله تخمر نقيع الملت ومستقطراته المتبقية في مقطرة المشروب الكحولي يتم تبخيرها ثم ترش جافة لإنتاج مسحوق بني فاتح بمكونات متباينة يعرف بذوائب المستقطرات. و يضاف الجير ليساعد في التجفيف وبذلك فهو غني بالكالسيوم. تنتج كميات قليلة فقط من الذوائب المجففة بسبب ارتفاع تكاليف التجفيف ويكون استعمالها عادة محدداً بمستويات منخفضة في أغذية الخنازير والدواجن. هذه المنتجات مصدر مفيد من مجموعة فيتامين B، وبالرغم من ارتفاع محتوى البروتين، إلا أن التسخين أثناء التجفيف يقلل مدى إتاحة الأحماض الأمينية. و تبين من التقارير أن هذه الذوائب الجافة تعزز نشاط ميكروفلورا الكرش.

مستحضر خام من مخلفات نقيع الملت (Pot ale) وفي صورة مكثفة "شراب مخلفات نقيع الملت" (Pot ale syrup) وهو يحتوي حوالي على 300 – 500 جم مادة جافة/كجم ويحتوي على 350 جم بروتين خام/كجم مادة جافة و قيمة الطاقة الأيضية به للمجترات نحو 14.2 ميجا جول/كجم مادة جافة. معظم البروتين الخام في صورة المنتجات المتحللة مثل البيبتيدات (Peptides) والأحماض الأمينية وهي جميعها متحللة فعلياً في الكرش. و من ناحية أخرى، فإن المعاملة بالحرارة تؤدي إلى أن يصبح البروتين رديء النوعية للخنازير وبذلك يجب أن يغذّى مع مصادر بروتين من النوعية الجيدة، مثل مسحوق

السمك. محتوى المعادن في شراب مخلفات النقيع تكون غير متوازنة وبمستوى منخفض من الكالسيوم والصوديوم ولكن محتويات عالية من الفوسفور والبوتاسيوم. يجب أن يقدم هذا المنتج للأغنام بحذر بسبب محتواه العالي من النحاس، الموجود كملوثات من معدات التقطير (المقطرات النحاسية).

جدول 4.22 القيمة الغذائية للحبوب المستقطرة

(From Black H et al. 1991 *Distillery By-products as Feeds for Livestock*. The Scotish Agricultural College, Aberdeen)

Grain dishillers Dark grains[a]	Malt distillers Dark grains	Grain Disbillers grains	Malt Distillers grains	
890 (890)	900	260	230 (270[b])	مادة جافة (جم/كجم)
340 (317)	275	320	198	بروتين خام(جم/كجم مادة جافة)
69 (110)	35	106	125	مستخلص أيثير (جم/كجم مادة جافة)
89 (91)	121	160	174	ألياف خام (جم/كجم مادة جافة)
52 (46)	60	16	36	رماد (جم /كجم مادة جافة)
				طاقة أيضية (المجترات)
13.5 (14)	12.2	13	11.1 (10.8[b])	(ميجا جول/كجم مادة جافة)
0.70 (0.70)	0.70	0.80	0.80	مدى تحلل البروتين الخام
				طاقة مهضومة (الخنازير[c])
10.5	10.0	12.0	11.7	(ميجا جول/كجم مادة جافة)
7.8	8.9	6.9	5.8	اللايسين (جم /كجم مادة جافة)

a قيم لحبوب داكنة مبنية على قمح (مبنية على ذرة)

b القيم الخاصة بالحبوب المسلوجه معطاة بين أقواس

c قيم مطبقة على خنازير نامية وناهية ومعدلة لأقل كفاءة استخدام لمنتجات التخمير؛

القيم الخاصة بإناث الخنازير الجافة يرجح أنها 10 إلى 15% أعلى.

مستقطرات حبوب داكنة Distillers dark grains

يتم عادة خلط الغسيل المستهلك spen wash أو مخلفات نقيع التخميرpot ale (بنسب 2:1 إلى 4:1) بالحبوب المستقطرة distillers grains لإنتاج مادة تباع كمستقطرات حبوب جافة مع الذوائب أو حبوب داكنة (جدول 4.22). و يشار إلى المخلوط من مستقطرات الملت بالملت أو "حبوب الشعير الداكنة" بينما يشار إلى مستقطرات الحبوب بالحبوب، القمح أو "حبوب الذرة الداكنة"، وعادة يتم تحبيبها "في كريات". و تكون قيمة الطاقة في حبوب البذرة الداكنة عالية نتيجة المحتويات الأعلى في كل من الدهن والبروتين ومحتوى ألياف أقل. و تكون الحبوب الداكنة عامة غذاء متزناً للمجترات إلا أن عملية تحلل البروتين قد تختلف تبعا لعمليات التجفيف. إضافة إلى ذلك، قد تكون جودة البروتين غير المتحلل رديئة نتيجة تلف من الحرارة. و يحدد هذا العامل كذلك قيمة البروتين للخنازير، بالرغم من انه بإضافة مناسبة من الأحماض الأمينية، قد تشكل الحبوب نحو 15 % من الأغذية الخاصة بالخنازير النامية وخنازير التسمين (Finishing)، أما إناث الخنازير الجافة فقد تغذى بمستويات أعلى. كما هو الحال في المنتجات الثانوية الأخرى للتقطير، فإن الحبوب الداكنة مصدر جيد للفوسفور وقد يكون محتوى النحاس عالياً، وخاصةً في مستقطر الملت للحبوب الداكنة. و تبيع بعض المقطرات مخلوط المخلفات وشراب مخلفات تخمير النقيع في حالة طرية وهي مادة تعرف بـ (Superdraff).

المنتجات الثانوية لصناعة الشعير المحبب

By - products of pearl barley industry

عند تحضير الشعير المحبب للاستهلاك البشري، ينزع غطاء النخالة وتصنفر الحبة لإنتاج حبه بيضاء لامعة. و خلال هذه العملية هناك ثلاثة من المنتجات الثانوية يتم الحصول عليها، يشار إليها بالنفايات الخشنة، المتوسطة والناعمة، وعادة تخلط وتباع كغذاء شعير و يحتوي هذا الغذاء (barley feed) على حوالي 140 جم بروتين خام /كجم مادة جافة وحوالي 100 جم ألياف خام/كجم مادة جافة. و الكمية المتوفرة من هذا المنتج في المملكة المتحدة قليلة جداً.

الذرة **Maize**

يتواجد عدد من الأنواع المختلفة من الذرة (*Zea mays*) وتظهر الحبة في ألوان متباينة، صفراء، بيضاء أو حمراء. و تحتوي الذرة الصفراء على صبغة، (Cryptoxanthin)، وهي مادة يتشكل منها فيتامين A. و في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث تكون معروفة باسم (Corn) تزرع كميات كبيرة من هذه الغلة، وقد فضلت الأنواع الصفراء لتغذية الحيوان. و تميل الحبة المصبغة إلى تلوين دهن الذبيحة، والذي لا يعتبر مرغوباً في المملكة المتحدة، وعليه فإن أصناف الذرة البيضاء تكون مفضلة هنا (في المملكة المتحدة) عند تسمين الحيوانات. و من ناحية أخرى، يكون الصبغ مفيداً في أغذية الدجاج البياض، حيث يساهم في تكوين اللون البرتقالي لصفار البيض. الذرة، مثل حبوب الغلال الأخرى، لها محددات معينة كغذاء لحيوانات المزرعة. و رغم أنها مصدر ممتاز للطاقة المهضومة إلا أنها منخفضة في البروتين، وأن البروتينات الموجودة ذوات جودة منخفضة (شكل 2.22). و تحتوي الذرة حوالي 730 جم نشا /كجم مادة جافة، وهي منخفضة جداً في الألياف ولها

قيمة عالية من الطاقة الأيضية. و يكون نشا الذرة مهضوماً في الكرش بدرجة أكبر من الحبوب الأخرى، وعند مستويات التغذية العالية تعبر نسبة من النشا إلى الأمعاء الدقيقة حيث تهضم وتمتص كجلوكوز. قد تكون هذه ميزه في بعض الظروف كما في الكيتوزيه (Ketosis). عندما يطبخ النشا أثناء التجهيز فإنه يتخمر بسهولة في الكرش. و يختلف محتوى الزيت في الذرة من 40 إلى 60 جم/كجم مادة جافة ويتميز بارتفاع حمض اللينوليك، والذي يكون عاملاً مهماً لتحكم الغذاء في حجم بيض الدجاج. و من ناحية أخرى، فإنه يميل إلى إنتاج دهن طري بالجسم.

إنّ محتوى البروتين الخام في الذرة متباين جداً ويتراوح عامةً من حوالي 90 إلى 140 جم/كجم مادة جافة، و على الرغم من أن الأصناف الحديثة المحسّنة تحتوي محتوى أعلى. الاتجاه في الولايات المتحدة الأمريكية بغية تطوير أصناف هجينة بمحتوى بروتين منخفض. و تحتوي حبة الذرة على نوعين من البروتينات، الزيين (Zein)، يوجد في السويداء (endosperm)، وهو من ناحية كمية مهم كثيراً، ولكن هذا البروتين تنقصه الأحماض الأمينية الضرورية (الإجبارية)، تريبتوفان ولايسين (أنظر شكل 2.22). البروتين الآخر، جلوتيلين الذرة (maize glutelin) يوجد بكميات أقل في السويداء وكذلك في الجنين، وهو المصدر الأفضل لهذه الأحماض الأمينية. و أنتجت أصناف من الذرة بمكونات مختلفة من الأحماض الأمينية عما هو موجود في الذرة العادية. أحد تلك الأصناف *Obaque-2* والذي به محتوى لايسين مرتفع. و يعزى الفرق بين هذه الأصناف والذرة العادية أساساً إلى نسبة الزيين : الجلوتيلين. و تبين أن *Obaque-2* متفوقة غذائياً على الذرة العادية بالنسبة

للجرذان، الخنزير، الإنسان والكتكوت، ولكن هذا فقط في الأغذية المدعمة بالميثايونين. و ثمة نوع أحدث، وهو *Floury-2*، به محتوى زائد من كل من الميثايونين واللايسين وقد اتضح من الدراسات المتعلقة بالكتاكيت بأنه كان متفوقاً على الذرة من نوع *Opaque-2* في الأغذية غير المدعمة بالميثايونين.

المنتجات الثانوية للذرة Maize by-products

عند تصنيع النشا والجلوكوز من الذرة، يتم الحصول على عدد من المنتجات الثانوية والتي تكون ملائمة لتغذية حيوانات المزرعة. تنقع الذرة النظيفة في محلول حمض مخفف ثم تطحن في قوام خشن. يطفو جنين الذرة نحو السطح ويزال لمعاملته مرة ثانية. تطحن الحبوب التي نزع منها الجنين لدرجة ناعمة وُتفصل بالتقنية الرطبة. يتكون السائل المتبقي من معلق (Suspension) نشا وبرتين (جلوتين)، والذي يفصل عن طريق الطرد المركزي "Centrifugation"، و تؤدي هذه العملية إلى ثلاث منتجات ثانوية – الجنين، النخالة والجلوتين.

و الجنين غني جداً بالزيت، والذي يكون مفيداً في صناعة الأغذية البشرية، ومعظمه يستخلص قبل إنتاج مسحوق(كسبة) الجنين. و كسبة جنين الذرة منتج متباين، ويعتمد على درجة الفصل أثناء الطحن (محتوى النشا والألياف) وعملية الاستخلاص- باستخدام المكبس اللولبي مقابل استعمال المذيب (محتوى الزيت). في دراسة حديثة عن خمس عينات من المسحوق (الكسبة) كانت محتويات النشا، ألياف المنظف المتعادل NDF

والزيت في المدى 435 – 570، 220 – 572 و35 - 127 جم /كجم مادة جافة على التوالي. تفرض لوائح التغذية ومواد العلف في المملكة المتحدة بيان محتوى الدهن والبروتين. يكون البروتين بتوازن جيد فيما يتعلق بالأحماض الأمينية. و قد يتأكسد الزيت بسرعة في الإكساب " المساحيق " ذوات المحتوى العالي من الزيت إذا لم يخزن تحت ظروف مناسبة. كسب (مسحوق) جلوتين الذرة (Prairie) به محتوى عالٍ جداً من البروتين (يصل إلى حوالي 700 جم/كجم مادة جافة) ومرتفع بالصبغات وبالتالي فهو مفيد في أغذية الدواجن.

و كثيراً ما تخلط المنتجات الثانوية الثلاثة مع بعضها (الجنين، النخاله والجلوتين) وتباع كغذاء جلوتين الذرة (maize gluten feed). و هذا الغذاء محتوى بروتين متباين، عادة في مدى 200 - 250 جم/كجم مادة جافة، منها حوالي 0.6 متحلل في الكرش. و تشير المادة البنية القاتمة إلى التلف الناتج من الحرارة والتي سوف تخفض معامل هضم البروتين. غذاء جلوتين الذرة به محتوى ألياف خام حوالي 80 جم/كجم مادة جافة، وقيم الطاقة الأيضية به حوالي 9 و 12.5 ميجا جول/كجم مادة جافة للدواجن والمجترات، على التوالي،وقيمة الطاقة المهضومة للخنازير نحو 14.5 ميجا جول/كجم مادة جافة. و بما انه منتج مطحون فإن الألياف سوف لا يكون لها نفس التأثير كما لو كانت أعلافاً خشنة طويلة في أغذية المجترات. برغم ذلك، فقد تم استخدام غذاء جلوتين الذرة كنسبة أساسية في الغذاء المركز لأبقار اللبن، وعامة يحدد بحوالي 10 - 20 % في أغذية الخنازير.

الشوفان Oats

غالباً ما كان الشوفان (*Avena sativa*) من الحبوب المفضلة بالنسبة للحيوانات المجترة والخيول، إلا أنه أقل شيوعاً في تغذية الخنزير والدواجن، وبسبب ارتفاع محتواه من الألياف وانخفاض قيمة الطاقة بعض الشيء، فإن القيمة الغذائية للشوفان تعتمد وبدرجة كبيرة على نسبة الحبة (الجريش بدون القشور groat) إلى القشرة. و نسبة القشرة في الحبة الكاملة على النوع، البيئة والموسم، وقد تختلف من 23 على 35 %
(بمتوسط 27 %). و لعل الشوفان ذو المحتوى العالي من القشرة أغنى في محتوي الألياف الخام وبه قيمة الطاقة الأيضية أقل من الشوفان قليل القشرة.

و يزداد محتوى البروتين الخام، والذي يتراوح من 70 إلى 150 جم/كجم مادة جافة، مع استعمال الأسمدة النيتروجينية. بروتين الشوفان جودته منخفضة وتنقصه الأحماض الأمينية الضرورية (الإجبارية)، ميثايونين، هستيدين وتريبتوفان، وبشكل عام تكون كمية كل من هذه الأحماض في بروتين الشوفان أقل من 20 جم/كجم. و محتوى اللايسين منخفض أيضاً إلا أنه أعلى قليلاً مما في بروتينات حبوب الغلال الأخرى. و حمض الجلوتاميك هو الحمض الأميني الوافر في بروتين الشوفان، والذي قد يساوي نحو 200 جم/كجم.

و محتوى الزيت في الشوفان مرتفع مقارنةً بمعظم حبوب الغلال الأخرى، وحوالي 60 % منه موجود في السويداء (endosperm)، وكما أشير إليه سابقاً، فإن الزيت غني بالاحماض الدهنية غير المشبعة وله تأثير مرطب على دهن الجسم. المدى في مكونات المادة الجافة لعدد 171 عينة من حبوب الشوفان المحصودة في ويلز Wales مبين في جدول 2.22.

تنزع القشرة بسهولة في صنف من الشوفان وهو شوفان بدون قشرة (*Avena nuda*)، أثناء الدراس تاركة البذرة (kernel). أساساً، و كان الإنتاج والجودة الغذائية منخفضة إلا أنه حديثاً هناك صنف محسّن، Rhiannon، تم تطويره بواسطة محطة تربية النبات في ويلز (Welsh Plant Breeding Station). و الشوفان من غير قشور به حوالي 130 - 140 جم بروتين خام، 6 جم لايسين و 100 جم زيت/كجم مادة جافة.

المنتجات الثانوية للشوفان **Oat by-products**

يتم خلال الإعداد التجاري لمسحوق الشوفان للاستهلاك البشري، الحصول على عدد من المنتجات الثانوية والتي تتوفر لتغذية الحيوان. عندما يستلم الشوفان عند المطحن فإنه يحتوي علي عدد من الحبوب الغريبة، وهي أساساً من غلال أخرى وبذور حشائش، والتي تزال كنبات ضار (Cockle) قبل التجهيز. تثبيت الحبوب النظيفة عن طريق المعالجة بالبخار لتثبيط نشاط إنزيم الليبيز (Lipase) الذي يتواجد معظمه تقريباً في غلاف الحبة. يجفف الشوفان بالفرن بعد عملية التثبيت، قبل مروره إلى ماكينة نزع القشرة والتي تزيل القشرة الخارجية. تنظف الحبوب بعد ذلك لفصل الشعيرات الناعمة التي تغطي الجزء الأكبر من أسطحها.

المنتجات الثانوية الأساسية من تصنيع مسحوق الشوفان هي قشور الشوفان وغبار وبذور مسحوقة. و تشكل القشور المنتج الثانوي الرئيسي، 70 % من المجموع الكلي، ويتكون المنتج التجاري من القشور السليمة وبنسب متباينة، نحو 10 % ، من مادة البذرة.

و لقشور الشوفان قيمة غذائية منخفضة جداً، وهي أفضل قليلاً من تبن الشوفان. و محتوياتها من البروتين قليلة جدا (حوالي 30 جم/كجم مادة جافة) ويرجح الحصول على معاملات هضم سلبية للنيتروجين أثناء تجارب تحديد معامل الهضم، بسبب الكمية العالية نسبياً من النيتروجين الأيضي المخرج مقارنةً بما تم هضمه منها. و محتوى الألياف الخام عادة بين 350 و 380 جم/كجم مادة جافة والتي تجعل هذا المنتج الثانوي عديم القيمة كغذاء للحيوانات باستثناء المجترات.

و غبار الشوفان غني بمادة البذرة وتتضمن شعيرات البذرة المنزوعة منها أثناء الدراس، ويكون محتوى البروتين بها حوالي 100 جم/كجم مادة جافة. تتكون الحبوب المسحوقة من بقايا القشرة ومن الحبوب المكسورة بنسب متساوية تقريباً.

قد تتجمع قشور الشوفان مع غبار الشوفان بالنسب التي تصل بها من المطحن (4 إلى 1) لتعطي منتجاً يباع كغذاء شوفان "Oat feed"، و تعتبر هذه المادة أفضل في القيمة الغذائية نوعا ما من القشور بمفردها إلا أن معامل هضم البروتين مازال منخفضاً. و في المملكة المتحدة يجب ألا يحتوي غذاء الشوفان علي أكثر من 270 جم ألياف خام/كجم وهذا حسب التعريف القانوني. الاستعمال البديل للقشور هو صناعة التخمير، حيث يضاف غالباً إلى الملت malt ليساعد على تصريف رشاحه الملت (wort) من برميل الحبوب المجروشة.

الشوفان منزوع القشرة نفسه (الحبوب أو جريش منزوع القشرة groats) له قيمة غذائية عالية محتوياً على حوالي 180 جم بروتين خام /كجم مادة جافة وأقل من 30 جم

ألياف خام/كجم مادة جافة. الجريش منزوع القشرة عامة مكلف جداً لإعطائه لحيوانات المزرعة، وهو يطحن في شكل مسحوق شوفان بعد إزالة النهايات المستدقة (tips)، و تخلط هذه النهايات مع أي من المخلفات التي تكون قد تراكمت خلال تدفق الشوفان أثناء الطحن ويُصمم المنتج علي انه مسحوق مصبوب (flowmeal). و قد يكون المسحوق المصبوب غذاءً مفيداً جداً نظراً لأنه قد يحتوي الجنين؛ ومع ذلك، فإن معظم هذا المنتج الثانوي، تسيطر عليه التجارة المركبة (المجمعة The compound trade). رقائق الشوفان المطبوخة، بالرغم من أنها مكلفة فهي مكوَّن مفيد في الغذاء فيما يتعلق بالخنازير الصغيرة جداً.

القمح Wheat

حبة القمح (*Triticum aestivum*) متباينة جداً في التركيب،فمحتوى البروتين، مثلاً، قد يتراوح من 60 إلى 220 جم/كجم مادة جافة، ولو أنه عادة بين 80 و 140 جم/كجم مادة جافة. و تؤثر المناخ وخصوبة التربة بالإضافة إلى الصنف جميعها في محتوى البروتين. و لعل كمية وخصائص البروتينات الموجودة في القمح مهمة جداً في الحكم علي جودة الحبة فيما يتعلق بإنتاج الدقيق.

البروتينات الأكثر أهمية الموجودة في السويداء (endosperm) هي برولامين (جليادين) Prolamin (gliadin) وكذلك جلوتيلين (جلوتينين) glutelin (glutenin). مخلوط البروتينات الموجودة في السويداء (endosperm) غالباً يشار إليه كجلوتين (gluten)، ويختلف تركيب الأحماض الأمينية في هذين البروتينين، حيث يحتوي الجلوتينين حوالي ثلاثة

أضعاف من اللايسين مقارنة بما هو موجود في الجليادين. الحمض الاميني الرئيسي الموجودة في جلوتين القمح الأحماض غير الضرورية (غير الإجبارية) حمض الجلوتاميك (330 جم/كجم)، وحمض البرولين (120 جم/كجم). يختلف جلوتين القمح في الخصائص وبدرجة أساسية فإن خصائص الجلوتين هي التي تقرر ما إذا كان الدقيق مناسباً للخبز أو لعمل البسكويت. تظهر على جميع الجلوتينات خاصية المرونة، فالجلوتينات القوية مفضلة لعمل الخبز، وتكوّن عجينة تمنع تسرب الغازات الناتجة أثناء تخمّر الخميرة.

تعتبر خاصية الجلوتين هي السبب الرئيسي في عدم استساغه القمح المطحون بشكل ناعم عندما يعطي للحيوانات بأي كمية. القمح، وخاصة المطحون لدرجة ناعمة جداً، يكوّن كتلة عجينية "Pasty mass" في الفم وفي الكرش وهذا ربما يؤدي إلى اضطرابات هضمية. الدواجن أقل حساسية، بالرغم من أن القمح عالي الجلوتين يجب ألا يعطي نظراً لأن الكتلة العجينية قد تتراكم في الحويصلة. من هذه الناحية فإن القمح المحصود حديثاً يشكل ضرراً أكثر وضوحاً من القمح المخزن لبعض الوقت.

المنتجات الثانوية من القمح Wheat by-products

تتكون حبة القمح من حوالي 82 % سويداء (endosperm)، 15 % نخاله أو غلاف البذرة و 3 % جنين. في التصنيع الحديث للدقيق، الهدف هو فصل السويداء عن النخالة والجنين. يمزج القمح بعد التنظيف التام والتهيئة في مزيج مناسب (grist) ويعتمد ذلك على نوع الدقيق المطلوب، ويمرر خلال سلسلة من المكابس المرتبة في أزواج. الزوج

الأول له تأثير ممزق ويعمل علي تحرير غلاف النخالة من السويداء (endosperm). تعمل المكابس تدريجياً على تفتيت الحبوب، وفي نهاية المراحل المختلفة يزال الدقيق بواسطة الغربلة بمناخل، وتعرف نسبة الدقيق المتحصل عليها من الحبة الأصلية بمعدل الاستخلاص (extraction rate).

المحدّدات الميكانيكية في الطحن كما في حالة الممارسة العملية أن حوالي 75 % هو نهاية استخلاص الدقيق الأبيض؛ معدلات استخلاص أعلى تسبب تضمين جزء من النخالة ومن الجنين مع الدقيق. و في المملكة المتحدة، كثيراً ما يحضر المسحوق الكامل أو الدقيق البني عن طرق إضافة كل أو بعض من المنتجات الثانوية للطحن على التوالي للدقيق الأبيض (straigh-run white flour). و لعل البديل الآخر، هو طحن الحبوب الكاملة بين الرحى الحجرية لتكوين مسحوق كامل خشن.

يختلف معدَّل الاستخلاص خلال عمليات إنتاج الدقيق الأبيض، باختلاف الدول ولكنه في المملكة المتحدة حوالي 74 %. و يشكل المتبقي بعد ذلك 26 % المخلفات أو النفايات (offals). قبل أن يحل الطحن بالاسطوانات محل الطحن الحجري، هناك عدة درجات مختلفة تباع من نفايات القمح، تختلف مسمياتها باختلاف الجهات المختلفة من الدولة وكذلك من مطحن إلى مطحن. و تشير بعض الأسماء ببساطة إلى جودة المنتج الثانوي أو إلى المرحلة التي نتجت منها عند التجهيز، مثلاً جريش ممزوج بالنخالة (middlings) ودرجة ثالثة (thirds). عند الطحن الحديث بالاسطوانات المدحرجة، قد تباع النفايات كاملة كغذاء قمح (Straight-run wheat) أو كثلاثة منتجات منفصلة —

الجنين، غذاء قمح ناعم (shorts في الولايات المتحدة الأمريكية؛ Pollard في استراليا) وغذاء قمح خشن أو نخالة.

الجنين أو(البذرة) غني جداً بالبروتين (حوالي 250 جم /كجم مادة جافة)، منخفض بالألياف الخام وهو مصدر ممتاز للثيامين (B_1) و فيتامين E، وقد يتم تجميعه منفصلاً أو قد يترك ليتدفق إلى منتج ثانوي كغذاء القمح الناعم.

يختلف غذاء القمح الناعم كثيراً في المكونات ويعتمد ذلك على كمية القمح الأصلية المعدة للطحن وعلى معدل الاستخلاص. يكون محتوى البروتين الخام عامة في مدي 160 – 210 جم/كجم مادة جافة ومحتوى الألياف الخام حوالي 40 – 100 جم/كجم مادة جافة. و يمكن استخدام غذاء القمح الناعم وبأمان لكل أنواع حيوانات المزرعة وقد استخدمت مستويات نحو 30 % وبشكل مناسب في أغذية خنازير التسمين.

يحتوي غذاء القمح الخشن، أو النخالة، أكثر ألياف وبروتين أقل من غذاء القمح الناعم وهو شائع دائماً في غذاء الخيول. و لا يعتبر ملائماً للخنازير والدواجن بسبب ارتفاع محتوى الألياف، ومع ذلك، ففي الوقت الحاضر تتوفر القليل جداً من النخالة لتغذية الحيوانات كما أن الكثير منها يستخدم في تحضير حبوب الإفطار.

الأرز Rice

الأرز (*Oryza sativa*)، وهو محصول الغلال الأساسي في شرق وجنوب آسيا، يحتاج إلى مناخ شبه استوائي أو دافئ معتدل ويزرع القليل منه في أوروبا شمال خط عرض 49°.

عندما يدرس الأرز، تكون له قشرة ليفية سميكة مثل قشرة الشوفان، و تُعرف هذه الحالة بالأرز الخشن. و تقدر القشرة بنحو 20 % من الوزن الكلي وهي غنية بالسليكا (الرمل Silica). تزال القشرة بسهولة ويتبقي منها منتج يعرف بالأرز البني (الأسمر). و لا يزال الأرز الأسمر مُغلّفاً بالنخالة، والتي يمكن إزالتها مع طبقة اللورون (aleurone) والجنين بواسطة التقشير والتبييض، وبالتالي إنتاج الأرز المصقول (Polishing rice).

قد يستخدم الأرز الخشن كغذاء للمجترات والخيول، إلا أن الأرز الأسمر مفضل للخنازير ويضاهي الذرة في قيمة البروتين والطاقة. و من ناحية أخرى، يستخدم معظم الأرز للاستهلاك البشري ويتوفر القليل منه في المملكة المتحدة لحيوانات المزرعة.

و هناك اثنان من المنتجات الثانوية يتم الحصول عليه من معالجة الأرز وهي القشور ومسحوق الأرز. و تكون القشور مرتفعة في محتوى الألياف وقد تحتوي نحو 210 جم سيليكا/كجم مادة جافة. كذلك بها حواف حادة قد تهيّج الأمعاء، ويجب ألا تعطى للحيوانات مطلقاً. مسحوق الأرز أو نخاله الأرز مشتملة على غلاف البذرة، طبقة اللورون، الجنين وبعض من السويداء (endosperm)،وهي منتج مهم يحتوي علي حوالي 120- 145 جم بروتين خام/كجم مادة جافة وعلى حوالي 110- 180 جم دهن/كجم مادة جافة. يكون الدهن بشكل خاص غير مشبع وقد يصبح متزنخاً بدرجة سريعة جداً؛ وإذا تمت إزالته يعطي منتج بنوعيه أحسن، وهو نخاله الأرز المستخلصة (extracted rice bran). و يجب

الإعلان عن الدهن، البروتين الخام والألياف الخام في مسحوق الأرز المباع في المملكة المتحدة.

عند تحضير النشا من الأرز، هناك منتج يعرف براسب الأرز (rice sludge) أو سواقط الأرز (rice sulmp) وهي تبقى كمخلفات. المنتج المجفف به محتوى بروتين خام حوالي 280 جم/كجم مادة جافة ومحتويات منخفضة من الألياف الخام والدهن وهو ملائم للمجترات والخنازير.

الزوّان Rye

إن استخدام الزوّان (*Secale cereale*) في المملكة المتحدة قليل نسبياً ويزرع القليل منه لتغذية حيوانات المزرعة. حبة الزوّان مشابهة للقمح في التركيب بالرغم من أن بروتين الزوّان أعلى في محتوى اللايسين وأقل في محتوى التريبتوفان من بروتين القمح. فقد تم اعتباره أقل حبوب الغلال استساغه، كذلك فهو عرضه لأن يسبب اضطرابات هضمية ويجب أن يعطى دائماً بحذر وبكميات محدودة.

يتلوث الزوّان بالإرغوت (Ergot) وسببه فطر مجهري طفيلي يسمى (*Claviceps purpurea*) ربما يكون خطراً على الحيوانات. يحتوي الفطر على مخلوط من أشباه القلويات "alkaloids" والتي من أكثرها أهمية ergotamine و ergometrine، وبالنظر إلى تأثيرها على عضلة الرحم فهي ضمن مسببات الإجهاض في الأبقار التي استهلكت زوان مصاب بالارغوت. و من ناحية أخرى، فمن غير المؤكد أن كمية ergotamine يمكن أن تكون كافية لإحداث الإجهاض. و لعل الأكثر أهمية، هو أن

التسمم المزمن عن طريق أشباه القلويات يسبب ضرراً في ظهارة "النسيج المبطن" للشعيرات الدموية، وتخفيض تدفق الدم ويؤدي ذلك إلى فتور "coldness" وتبلد "عدم الإحساس" في الأطراف. و يترتب علي ذلك حدوث العرج وتقرّحات تنكرزية
(يصحبها موت موضعي بالنسيج الحي) في الأقدام، الذيل والأذنين في الثدييات، إما في الطيور فيحدث ذلك في المنقار، اللسان والغبب " الزوائد اللحمية التي تتدلى من حلق الطائر أو من رأسه ".

كما في حالة القمح، يجب أن يجرش الزوّان أو يطحن في شكل خشن لتغذيته للحيوانات، وبشكل عام لا يعطي الزوّان للدواجن. و قد أوضحت التجارب على الكتاكيت أن الزوّان يحتوي على الأقل عاملين ضارين، عاملاً خافضاً للشهية يقع أساساً في النخالة، وعاملاً خافضاً للنمو يوجد في كل أجزاء الحبة.

و يستخدم معظم الزوّان المزروع في المملكة المتحدة في إنتاج خبز الزوّان ومنتجات خاصة للاستهلاك البشري، و يستخدم البعض منه في التخمير والتقطير. المخلفات من إنتاج ملت الزوّان وهي نخاله الزوّان وثفل ملت الزوّان، إلا أن هذه متوفرة بكميات قليلة في المملكة المتحدة لدرجة أن أهميتها بسيطة.

الشليم Triticale

الشليم هجين من الحبوب مشتق من تهجين القمح مع الزوّان، واسمه مستمد من توحيد مصطلحات الجنسين لحبوب الآباء (*Triticum* and *Secale*). و كان الهدف من تهجين هذين المحصولين هو توحيد الصفات المرغوبة في القمح مثل جودة الحبة، الإنتاجية

ومقاومة المرض مع قوة وصلابة الزوّان. و يزرع الزوّان على نطاق تجاري في وسط وجنوب أوروبا، أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية، وذلك لتغذية الحيوان بالدرجة الأولى. و مكوناته متباينة جداً؛ فالأنواع المجرية مثلاً، قد يتراوح محتوى البروتين الخام فيها من 110 إلى 185 جم/كجم مادة جافة. الأنواع الجديدة من الشليم متساوية مع القمح على الأقل في محتوى البروتين، أما جودة البروتين فهي في الهجين أفضل من القمح بسبب نسبتها الأعلى في اللايسين والأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت. و من ناحية ثانية، نجد أن الهجين به نقص في التريبتوفان. كما هو الحال في الزوّان، فإن الشيلم عرضه للإصابة بالإرغوت (ergot). و أثبتت الدراسات باستعمال هذا الهجين زيادة الخرّاجات (الدُمامَل abscesses) في الكبد في العجول المخصية (steers) عند مقارنتها بأغذية من الذرة الرفيعة (Sorghum). يحتوي الشيلم على مثبطات إنزيم التريبسين وريزورسنيول قلوي (alkyl resorcinol) وكلاهما مشترك في مشاكل رداءة الاستساغة والأداء في الخنازير. و ينصح بشكل عام تحديد الشيلم على نسبة 50 % من الحبوب المستخدمة في أغذية حيوانات المزرعة.

الدخن Millet

كثيراً ما يستعمل اسم الدُخن لبضعة أنواع من الغلال والتي تنتج حبوباً صغيرة وتزرع على نطاق واسع في المناطق الاستوائية والدافئة المعتدلة من العالم.

و تشمل الأقسام الأكثر أهمية من هذه المجموعة *Pennisetum americanum* (دخن الديس أو الدخن السنبلي)، *Panicum miliaceum* (ابروسّو أو دخن ذرة

المكانس)، *Eleusine coracana* (دخن ذيل الثعلب أو دخن إيطالي)، *Setaria italica* (دخن قدم الطير أو الإصبعي)، *Paspalum scorbiculatum* (كودو أو دخن الجداول)، *Echinochloa crusgalli* (دخن المخازن أو الدخن الياباني).

و مكونات الدخن متباينة جداً، يكون محتوى البروتين الخام بشكل عام في مدي من 100 - 120 جم/كجم مادة جافة، مستخلص الايثر 20 - 50 جم/كجم مادة جافة والألياف الخام 20 - 90 جم/كجم مادة جافة. و القيمة الغذائية للدخن مشابهة جداً للشوفان، ويتضمن محتوى عالٍ من الألياف غير المهضومة نظراً لوجود القشور التي لم تنزع بواسطة طرق الحصاد. و الدخن بذرة صغيرة و عادة يتم طحنه لتغذية الحيوانات باستثناء الدواجن.

الذرة السكرية Sorghum

الذرة السكرية (*Sorghum bicolor*) هي الحبوب الغذائية الرئيسية في أفريقيا وأجزاء من الهند والصين. و تزرع هذه الحبوب في الأجزاء الجنوبية من الولايات المتحدة، حيث هو ثاني الحبوب الغذائية المهمة. و يعتبر هذا المحصول أكثر مقاومةً للجفاف مقارنة بالذرة، وبذلك تم استخدامه كبديل لها. و هناك عدة أنواع مختلفة من الذرة السكرية (مثل الداري، ذرة المكانس)، وبما أنها حبوب مختلفة في الحجم، فإن التحاليل القياسية قد تكون مضللة عند تطبيقها على عينات فردية.

و حبة الذرة السكرية مشابهة جداً للذرة، ولو أنها أصغر منها في الحجم، وهي بشكل عام تحتوي علي بروتين أكثر نوعاً ما ولكن أقل دهناً مما في الذرة وليس بها

زانثوفيلات صبغية. و تحتوي الأنواع الداكنة على التانينات والتي تخفض معامل هضم البروتين. و يمكن أن تعطي الحبوب كاملة للأغنام والدواجن ولكن في العادة تطحن للحيوانات الأخرى. و يلزم الانتباه إلى عملية الطحن لأنها ربما تنتج مسحوقاً ناعماً، والذي يكون عجينياً غير مستساغ.

نفايات غربلة حبوب الغلال Cereal grain Screening

إنّ نفايات غربلة الحبوب هي البقايا من إعداد وتخزين وشحن منتجات الحبوب وتمثل قطع الحبوب المكسورة، حبوب صغيرة وغبار من الطبقات الخارجية للحبة. و تتباين خصائصها وقيمتها الغذائية بشكل كبير تبعاً لعوامل مثل النوع وطريقة تجهيز الحبة ونقطة التجميع في المنظومة. نفايات الغربلة من الحبوب الفردية و ربما تباع منفصلة أو مجتمعة. و تشمل المشاكل المصاحبة لاستخدامها وجود بذور الحشائش، وفي المنتجات القديمة، السموم الفطرية وتزنخ الزيوت.

تجهيز الحبوب Cereal processing

يكون تجهيز الحبوب لاستخدامها كأغذية حيوان، عن طريق تقنيات بسيطة كاالترقيق (rolling) أو الطحن، وهي ممارسة شائعة لعدة سنوات. حديثاً أصبحت مجالات أخرى من التقنيات متوفرة و يتم تقسيم هذه إلى نوعين أساسيين:

"**التجهيز الحراري**" وهو إما باستعمال الحرارة أو تولدها أثناء سير المعاملة، و "**التجهيزات الباردة**" وفيها لا تزداد درجة حرارة الحبة بشكل جوهري. و تشمل المعاملات الحرارية

الترقيق بالبخار، التسخين إلى جزيئات ميكرونية (micronization)، التحميس والتحبيب بالحرارة. عادة يجري الترقيق بالبخار على الذرة عن طريق طبخ الحبوب بالبخار أولاً، ثم تمريرها عبر اسطوانات لإنتاج رقاقة رفيعة ثم تجفف فيما بعد.

و تعتبر الذرة المرققة مقبولة أكثر من قبل الحيوانات ولها معامل هضم أعلى قليلاً من الحبة غير المعاملة. و عُرف عن المعاملة بالبخار والترقيق بأنها ترفع نسبة حمض البروبيونيك في الأحماض الدهنية الطيارة في الكرش. في حين أن حوالي 75 % من نشا الذرة المطحونة يهضم في الكرش، فإن هذا يزداد إلى حوالي 95 % عقب التبخير والترقيق. و سجلت كذلك تأثيرات أكبر في حالة الذرة السكرية (Sorghum) (المطحونة: 42 % مقابل المعاملة بالبخار 91 %). عكس ذلك، نشا الشعير المطحون يهضم تماماً في الكرش كما هو الحال مع القمح المطحون.

يستعمل مصطلح (micronization) في سياق الحديث عن تجهيز الحبوب، و بشكل خاص لوصف الطبخ بواسطة حرارة إشعاعية يعقبها الجرش في مطحن اسطواني. و تنفتح في هذه العملية حبيبات النشا، تتمزق وتتحول إلى هُلام، وبذلك تجعلها متيسرة أكثر لمهاجمة الإنزيم في القناة الهضمية. و يكون التحبيب (بالبخار) الحراري – بالنسبة للدواجن متفوقاً على التحبيب البارد عندما تم قياسه عن طريق معدل النمو وكفاءة التحويل الغذائي. و يبدو كذلك أنّ حبوب الذرة السكرية المعاملة بالبخار أو المطبوخة بالضغط بأنها تستغل بواسطة الكتاكيت بشكل أفضل من الذرة غير المعاملة. ولعل الحبوب المطبوخة

مرغوبة كذلك في الغذاء فيما يتعلق بصغار الخنازير، والتي لديها سعة محدودة لهضم النشا الخام.

تشكل "المعاملة البادرة" الطحن، الترقيق (rolling)، التكسير "Cracking" أو التجعيد "Crimping"، التحبيب البارد وإضافة الأحماض العضوية أو القلويات. طحن الحبوب ضروري لأقصى أداء في الدواجن المرباة تحت ظروف مكثفة نظراً لعدم وصولها إلى الحصى (grit)، الذي يستعمل في القانصة لتفتيت الحبوب. و بنفس الطريقة فإن أداء الخنازير المتحصلة على شعير مطحون يكون أفضل من تلك التي أعطيت شعيراً مجعداً " crimped barley ". و من ناحية أخرى، يجب ألا تكون درجة الطحن زائدة على الحد الطبيعي نظراً لأنه بعد درجة تنعيم معينة فإن هذا لن يحسن معامل الهضم أو الأداء وقد يسبب مشاكل فيما يتعلق بصحة الخنازير. و قد ينتج الطحن الناعم مادة غبارية والتي يمكن استنشاقها وقد تسبب تهيج العيون وربما تحفّز التقيؤ. بالإضافة إلى ذلك، التغذية بالحبوب المطحونة بشكل ناعم، وخصوصاً الذرة، تكون مصحوبة بتقرح في منطقة المريء والمعدة. تؤدي الحبيبات الناعمة في هذا الوضع إلى أن تكون محتويات المعدة السائلة جداً والبيبسين والحمض بداخل المعدة تنتقل بسهولة جداً وتصل إلى منطقة المريء غير المحمية. و قد تسبب السيولة الزائدة ترجيع محتويات الهضم من الإثنى عشر.

و لعل المفهوم العام، أن حبوب الشعير يجب أن تطحن بشكل خشن أو ترقق بالنسبة للأبقار. و من ناحية أخرى، فيما يتعلق بالأغنام ، بسبب أنها تمضغ غذاءها بشكل جيد، فعلى العموم ليس هناك ميزة من معاملة الحبوب. و هذا موضح في الجدول 5.22،

الذي يعرض نتائج دراسة عن حملان مفطومة مبكراً أعطيت حبوباً كاملة أو مطحونة وحبوباً في شكل كريات " Pelleted grains ". و لا توجد هناك تأثيرات ملحوظة للطحن أو التحبيب على زيادة الوزن الحي وكفاءة التحويل الغذائي، بالرغم من وجود اختلافات بين الحبوب. و بالرغم من أن المعاملة لم يكن لها تأثير على معامل هضم النيتروجين، إلا أنها خفضت وبدرجة جوهرية معامل هضم المادة العضوية للشعير وأدت إلى زيادتها في القمح.

علاوة على ذلك، كان للتغذية بالحبة الكاملة ميزتان إضافيتان عما في الحبوب على شكل كريات (Pelleted grains). أولاً، المستويات العالية من التغذية بالشعير المحبب للحملان سببت دهناً طرياً غير مقبول والذي كان نتيجة ترسب كميات زائدة من الأحماض الدهينة ذوات السلسلة المتفرعة والأعداد المفردة الشاذة، ويحدث هذا نتيجة قصور في الكبد عن استقلاب البروبيونيت الزائد، مؤدياً إلى دمجه مباشرة في أحماض دهنية (سلاسل ذوات أرقام مفردة) واستغلال ميثيل مالونيت methyl malonate (سلاسل متفرعة). ثانياً، حدوث التهاب الكرش (rumenitis) في حملان غذيت على أغذية بها مركزات عالية كان أقل وضوحاً مع الشعير الكامل مقارنة مع الشعير المرقق أو المحبب. و قد يكون لهذا علاقة بانخفاض pH الكرش بسبب الشعير المعامل. و لعل الاستثناء الوحيد لاستعمال الحبة الكاملة في أغذية الأغنام هو مع نعاج أعطيت شعيراً كإضافة للسيلاج. في هذه الأثناء تتخطى نسبة واضحة من الحبوب الهضم.

و تضاف أحياناً أحماض عضوية، مثل حمض البروبيونيك إلى الحبوب عالية الرطوبة، وخاصة الشعير، ويعمل هذا الحمض كمانع للتعفن الفطري (mould inhibitor)، وما لم

يتوزع الحمض بشكل فعلي، فإن قطعاً صغيرة من الشعير المتعفن بالفطر قد تشكل مصدر خطر على الصحة.

جدول 5.22 الأداء ومعامل الهضم لحملان مفطومة مبكراً أعطيت أربعة أنواع من الحبوب.

(From Ørskov, E R, Fraser C and Gordon J G 1974 *Br. J. Nutr.*, 32,59; Ørskov, E R, Fraser C and McHattie I 1974 *Anim. Prod.*, 18,85)

الحبوب	المعاملة	زيادة الوزن الحي(جم/يوم)	كفاءة تحويل الغذاء (كجم غذاء/كجم زيادة)	معامل الهضم	
				المادة العضوية	النيتروجين
الشعير	كامل، سائب	340	2.75	0.81	0.72
	مطحون، محبب	347	2.79	0.77	0.66
الذرة	كاملة، سائب	345	2.52	0.84	0.75
	مطحونة، محببة	346	2.62	0.82	0.69
الشوفان	كامل، سائب	241	3.07	0.70	0.78
	مطحون، محبب	238	3.33	0.68	0.77
القمح	كامل، سائب	303	2.97	0.83	0.71
	مطحون، محبب	323	2.56	0.87	0.76

و تصاحب أنواع معينة من الفطر المغزلي (*fusarium*) تلك الحبوب المتعفنة وقد عُرف على أنها تُنتج مركبات أيضية وسطية (metabolites) مثل (zearalenone) والذي له نشاط إستروجيني وقد يسبب التهاب الفرج والمهبل (Vulvoviginitis) ومتلازمة الرجل المفلطحة المميزة في الخنازير *Splay-leg* Syndrome.

و قد استخدمت المعاملة الكيميائية بهيدروكسيد الصوديوم، في صورة حبيبات أو محلول، كبديل للمعاملة الميكانيكية مثل ترقيق (rolling) الشعير ولحبوب الغلال الأخرى. و

لعل الهدف هو ترطيب القشرة وبدون تعريض السويداء (endosperm) إلى التخمّر السريع في الكرش، والذي يخلق ظروفاً حمضية زائدة. و من ناحية عملية فقد تم إثبات صعوبة تحقيق هذه الأهداف عن طريق معاملة الشعير بهيدروكسيد الصوديوم. و من ناحية أخرى، وفيما يتعلق بالقمح، اعتبرت الحبوب المعاملة بأن لها تأثيرات مفيدة عندما أعطيت لأبقار اللبن، وخاصةً في معادلة السيلاج شديد الحموضة أو عالي التوازن (very acid or silages highly buffered)، بالإضافة إلى أي تأثيرات لخفض معدل الاختمار في الكرش. حديثاً، فقد تم تحقيق زيادات مناسبة في الوزن الحي عن طريق استخدام الأمونيا في معاملة حبوب الشعير والقمح الكاملة الرطبة، والتي أعطيت لأبقار اللحم. إن استعمال الأمونيا يحفظ الحبة ويرفع محتواها من البروتين الخام (بروتين متحلل في الكرش) بالإضافة إلى التخلص من الحاجة إلى تجفيف ومعاملة الحبة. و استهلكت الحبوب المعاملة بالأمونيا بمعدل أدنى من الحبوب المجهّزة و تعتبر هذه ميزة في أنها خفضت فرصة نشوء ظروف حمضية في الكرش. و بالرغم من مرور بعض الحبوب الكاملة وغير المهضومة من قبل الحيوان، فإن هذا لم يكن له تأثير على الأداء.

مراجع الفصل الثاني والعشرون

1. Black H, Edwards S, Kay M and Thomas S 1991 *Distillery By-Products as Feeds for Livestock*. Aberdeen, The Scottish Agricultural College.
2. Church D C 1984 *Livestock Feeds and Feeding*, 2nd edn. Corvallis, Oregon, O and B Books.
3. Duffus C M and Slaughter J C 1980 *Seeds and Their Uses*. Chichester, John Wiley and Sons.
4. Gőhl B 1981 *Tropical Feeds*. Rome, FAO.
5. Hoseney R C, Varriano-Marston E and Dendy D A V 1981 Sorghum and millets. In Pomeranz Y (ed.) *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol. 4. St. Paul, MN, American Association of Cereal Chemists.
6. Kent N L 1983 *Technology of Cereals*, 3rd edn. Oxford, Pergamon Press.
7. Ørskov E R 1981 Recent advances in the understanding of cereal processing for ruminants. In Haresign W and Cole D J A (eds) *Recent Developments in Ruminant Nutrition*. London, Butterworths.

الفصل الثالث والعشرون

مركزات البروتين

مركزات البروتين Protein concentrates

مساحيق وأكساب البذور الزيتية Oil seed cakes and meals

هي المخلفات المتبقية بعد إزالة الجزء الأكبر من الزيت من البذور الزيتية. و تكون هذه المخلفات غنية بالبروتين (200 إلى 500 جم/كجم) ومعظمها أغذية مفيدة لحيوانات المزرعة. و يكون الاستعمال الكلي لهذه المنتجات يكون عن طريق صناعة الغذاء المركب في المملكة المتحدة، ففي عام 1991 كان بمقدار نحو 3.5 مليون طن. و تشكل الصويا حوالي 45 % من المجموع الكلي والمساهم الأكبر يلي ذلك هو بذرة اللفت نحو 23 %. و كانت هناك مساهمات هامة من خلال بذرة النخيل (4 %) وعباد الشمس (11 %). النسبة المتبقية (17 %) و شملت مدى واسعاً من المنتجات غير المعروفة تماماً مثل (Sheanut) و بذرة السمسم و(guar) بالإضافة إلى منتجات مألوفة مثل مسحوق بذرة الكتان وبذرة القطن. معظم مخلفات البذور الزيتية ذوات منشأ استوائي؛ وهي تشمل بذرة الفول السوداني، بذرة القطن، وفول الصويا. بعض البذور مثل الخروع (Castor bean) تنتج بقايا غير ملائمة للاستهلاك الحيواني لأنها تحتوي مواد سامة.

و قد استخدمت عمليتان رئيسيتان لإزالة الزيت من البذور الزيتية. إحداهما تستعمل الضغط لإخراج الزيت والأخرى تستخدم مذيبات عضوية، وعادة يكون الهكسان، وذلك لإذابة الزيت من البذرة. بعض البذور مثل الفول السوداني وبذرة عباد الشمس لها غلاف سميك أو قشرة، غنية بالألياف ومنخفضة فيما يتعلق بمعامل الهضم، والتي تخفض القيمة الغذائية للمادة. و قد يتم نزع هذا الغلاف أو القشرة كلياً أو جزئياً عن طريق

التكسير والغربلة وهي عملية معروفة بالتقشير (decortications). تأثير تقشير بذرة القطن على القيمة الغذائية للكسب المشتق منها موضح في الجدول 1.23.

تخفض إزالة القشرة محتوى الألياف الخام ولها تأثير مهم في تحسين معامل الهضم الظاهري للمكونات الأخرى، ونتيجة لذلك فإن القيمة الغذائية للكسب المقشور يرتفع معنوياً أكثر من غير المقشور، و يكون الأخير ملائماً لتغذية المجترات الناضجة فقط. قد يكون لها دور خاص في المحافظة على مستوى الألياف في الغذاء في هذا النوع من الحيوان. و يندر إنتاج الأكساب غير المقشورة في الوقت الحاضر إلا أن المقشورة جزئياً يتم تداولها على نطاق واسع.

و في حالة طريقة المعصرة، فإن البذرة التي يراد نزع الزيت منها تكسر ثم تقشر لإنتاج رقائق سمكها حوالي 0.25 مم، و تطبخ هذه عند درجات حرارة تصل إلى 104°م ولمدة 15 إلى 20 دقيقة. و ترفع درجة الحرارة بعد ذلك إلى حوالي 110– 115 °م حتى ينخفض محتوى الرطوبة إلى 30 جم/كجم. تمرر المادة بعد ذلك عبر اسطوانة أفقية مثقوبة والتي يوجد بها مسمار ملولب بدرجة ميل متباينة عندها يبلغ الضغط نحو ($40MN/m^2$).

و يكون محتوى الزيت المتبقي من المعصر اللولبي عادة بين 25 و 40 جم/كجم. و تسمى المعاصر الاسطوانية المستخدمة للاستخلاص طاردات (expellers) وغالباً ما يشار إلى طريقة الاستخلاص بعملية الطرد (النفث).expeller process.

جدول 1.23 المكونات والقيمة الغذائية لإكساب بذرة القطن

المكونات (جم / كجم)						
	مادة جافة	بروتين خام	مستخلص الايثر	مستخلص خالي من النيتروجين	الألياف الخام	الرماد
غير المقشورة	**880**	**231**	**55**	**400**	**248**	**66**
المقشور	**900**	**457**	**89**	**293**	**87**	**74**
معاملات الهضم						
	البروتين الخام	مستخلص الايثر	المستخلص الخالي من النيتروجين	الألياف الخام	الطاقة الأيضية (ميجا جول/كجم مادة جافة)	
غير المقشور	**0.77**	**0.94**	**0.54**	**0.20**	**8.5**	
المقشورة	**0.86**	**0.94**	**0.67**	**0.28**	**12.3**	

و تكون المادة التي محتواها من الزيت أقل من 350 جم/كجم هي فقط ملائمة للاستخلاص بالمذيب *Solvent extraction*. عندما تكون المادة ذات محتوى زيت أعلى ويراد معاملتها على هذا النحو، فهي تخضع أولاً إلى تعديل بالمعصر اللولبي لخفض محتوى الزيت إلى مستوى مناسب. المرحلة الأولى في الاستخلاص بالمذيب هي الترقيق (flaking)؛ بعدها يترك المذيب ليتخلل عبر الرقائق، أو قد تستخدم عملية النقع. عادة ما يكون محتوى الزيت بالمادة المتبقية بعد الاستخلاص اقل من 10 جم/كجم ولا يزال يحتوي بعضاً من المذيب الذي يزال بالتسخين. و قد تستفيد بعض الأكساب من التسخين وتؤخذ ميزة تبخر المذيب لإجرائها؛ و يحمص مسحوق فول الصويا مثلاً، عند هذه المرحلة من إنتاجه. حوالي 950 جم/كجم من النيتروجين في أكساب البذور الزيتية موجود كبروتين حقيقي ومعامل هضمه الظاهري نحو 0.75 إلى 0.90، وهو من نوعيه جيدة. عند استخدام القيمة

البيولوجية كمعيار للحكم على جودة البروتين، فإنها في بروتينات البذور الزيتية أعلى بكثير من بروتينات الحبوب (جدول2.23).

تقترب بعض بروتينات البذور الزيتية من البروتينات الحيوانية مثل مسحوق السمك ومسحوق الدم من حيث الجودة، بالرغم من أنها كصنف ليست جيدة مثلها، وبالطبع فإن جودتها أفقر من أفضل البروتينات الحيوانية كاللبن والبيض.

جدول 2.23 القيمة الغذائية لبعض من البروتينات الغذائية

المصدر	القيمة البيولوجية (الجرذان)	الدرجة الكيميائية	نسبة كفاءة البروتين (الجرذان)	القيمة الفعلية للبروتين (الكتاكيت)
الشوفان	**0.65**	**0.46**		
القمح	**0.67**	**0.37**	**1.5**	
الذرة	**0.55**	**0.28**	**1.2**	
مسحوق بذرة القطن	**0.80**	**0.37**	**2.0**	**0.77**
مسحوق الفول السوداني	**0.58**	**0.24**	**1.7**	**0.48**
مسحوق فول الصويا	**0.75**	**0.49**	**2.3**	**0.79**
مسحوق السمك الأبيض	**0.77**			**1.02**
اللبن	**0.85**	**0.69**	**2.8**	**0.90**
البيض الكامل	**0.95**	**1.00**	**3.8**	

إن قيمة نسبة كفاءة البروتين وقيمة البروتين الكلية تؤكد النوعية الجيدة لبروتينات البذور الزيتية إلا أن معيار الدرجة الكيميائية لها منخفض. و يعني هذا أنها غير متوازنة فيما يتعلق بمكونات الأحماض الأمينية بها، ولديها عجز كبير في حمض أميني واحد على الأقل. عموماً، تكون بروتينات البذور الزيتية منخفضة في محتوى السيستين والميثايونين، و يكون

محتوى اللايسين متبايناً ولكنه غالباً منخفض. و نتيجة ذلك، ليس باستطاعتها أن تكون مكملاً ملائماً لبروتينات الحبوب والتي تستعمل معها عادة ويجب أن تستخدم بالتزامن مع بروتين حيواني عندما تعطي لحيوانات وحيدة المعدة. إن جودة البروتين وخصوصاً في البذور الزيتية يكون ثابتاً نسبياً إلا أن ما هو في الكسب أو المسحوق المشتق منه قد يختلف اعتماداً على الظروف المستعملة في إزالة الزيت. و قد تسبب درجات الحرارة العالية والضغط أثناء عملية الطرد خفض معامل الهضم وتغيير الشكل الطبيعي للبروتين (denaturation) ويترتب عليه خفض قيمته الغذائية. بالنسبة للحيوانات المجترة ربما يكون مثل هذا التغيير في الشكل الطبيعي للبروتين مفيداً نظراً لما يصاحبه من انخفاض في تحلله في الكرش.

و تسمح درجات الحرارة العالية والضغط كذلك بالتحكم في المواد الضارة مثل الجوسيبول (gossypol) والجويترين (goitrin). و لا يشتمل الاستخلاص بالمذيب على عملية العصر، وتكون درجات الحرارة منخفضة نسبياً وقيمة بروتين الأكساب مساوية تقريباً لما هو في البذرة الأصلية.

و قد تساهم اكساب البذور الزيتية في محتوى الطاقة في الغذاء، خصوصاً عندما يكون محتوى الزيت مرتفعاً، و سوف يعتمد هذا على الطريقة المستخدمة وكفاءتها. و قد يكون محتوى الزيت في كسب فول الصويا الناتج بالطرد نحو 66 جم/كجم مادة جافة، وتركيز الطاقة الأيضية به نحو 14 ميجا جول/كجم مادة جافة مقارنة مع 17 جرام زيت و 12.3 ميجا جول من الطاقة الأيضية لكل كيلو جرام مادة جافة في الكسب المستخلص بالمذيب. و قد تنتج اضطرابات هضمية من الاستخدام غير المنظم للاكساب الغنية

بالزيت، وعندما يكون الزيت غير مشبع، فإن دهن اللبن أو الجسم قد يكون طرياً وتنخفض جودة الذبيحة.

غالباً تكون إكساب البذور الزيتية مرتفعة في محتوى الفوسفور والذي يميل إلى جعل محتواها منخفضاً من الكالسيوم أكثر. و قد توفر هذه المصادر كميات مفيدة من فيتامينات B ولكنها مصادر فقيرة من الكاروتين و فيتامين E (هـ).

كسب فول الصويا Soyabean meal

يحتوي فول الصويا من 160 إلى 210 جم من الزيت /كجم وعادة ما يتم استخلاصه بالمذيب، و لعل الكسب المتبقي يحتوى من الزيت حوالي 10 جم/كجم. يعتبر هذا الكسب بشكل عام واحداً من أحسن مصادر البروتين المتوفرة للحيوانات، وفي عام 1991 كان هو مصدر البروتين الرئيسي المستخدم في تغذية الحيوان في المملكة المتحدة. و يحتوي البروتين جميع الأحماض الأمينية الضرورية إلا أن تركيزات السيستين (Cystine) والميثايونين (methionine) تحت المستوى المثالي، ويعتبر الميثايونين هو الحمض الأميني الهام الأول وربما يكون مهماً بدرجة خاصة في الأغذية عالية الطاقة.

و يحتوي كسب فول الصويا على عدد من المواد السامة، المحفزة والمثبطة و تشمل مواد مثيرة للحساسية (allergenic)، مثيرة للجويتر (goitrogenic) وعوامل مضادة للتجلط (anticoagulant). إن لمثبطات إنزيمات تحلل البروتين أهمية خاصة في التغذية والتي تم التعرف على ستة منها، اثنين من هذه المثبطات هما، عامل كونيتز المضاد للتريبسين (Kunitz anti-trypsin factor) وباومان–بيرك المثبط للكيموتريبسين Bowman-Birk

(chymotrypsin inhibitor)، لهما أهمية عملية. مثبطات إنزيمات تحلل البروتين مسؤولة جزئياً عن خاصية إعاقة النمو الناتجة من فول الصويا الخام أو كسب فول الصويا غير المعامل بالحرارة. و يعزى البطء في النمو إلى الحد من هضم البروتين، إلا أن هناك دليلاً على أن زيادة مفرطة في نشاط البنكرياس أدت إلى زيادة إنتاج التريبسين والكيموتريبسين مما نشأ عنها فقد السيستين والميثايونين، وهذا هو المسئول الرئيسي. و يعطّل عامل كونيتز، وليس باومان–بيرك، نشاطه (30 - 40 %) بواسطة العصارة المعدية في الإنسان (*in vivo*) عند pH 1.5 إلى 2.0، ومع ذلك، فإن pH المعدة أعلى من 2.0 في معظم الوقت. يعطّل عامل باومان – بيرك نشاطه عند عبوره خلال أمعاء الكتاكيت. و ثمة مادة أخرى تساهم في إعاقة النمو وهي (haemagglutenin) التي لها القدرة على التصاق وتجمّع كريات الدم الحمراء في الجرذان (agglutinating)، الأرانب والإنسان ولكن ليس في الأغنام و العجول. ينتمي العامل السام إلى مجموعة من المركبات تعرف بالليكتينات "lectins"، وهي عبارة عن بروتينات قادرة على التعرّف والارتباط القابل للانعكاس مع جزئية الكربوهيدرات في الكربوهيدرات البروتينة (Glycoproteins) على سطح أغشية الخلية، وقد تبيّن بأنها مسئولة عن ضعف النمو وموت الحيوانات تحت الاختبار. تقوم بتأثيرها السام عن طريق الارتباط مع الخلايا الطلائية المبطنة للأمعاء الدقيقة وتمزق الخملات المجهرية (brush border) الموجود بالغشاء البلازمي للخلايا الطلائية وتخفض كفاءة امتصاص العناصر الغذائية.

ولقد أتضح أيضاً أن الليكتينات "lectins" تسبب تثبيط الإنزيمات (hydrolases) وتشجع وجود مستعمرات بكتيرية من "coliforms" في الأمعاء الدقيقة. و تختلف سميتها،

حيث تكون شديدة في الخروع "castor bean" ولكنها معتدلة نسبياً في فول الصويا. و يعطّل نشاط المثبطات بواسطة التسخين، وهذا يعلل الأفضلية الملاحظة عند استخدام الأكساب المحمصة للحيوانات وحيدة المعدة. بالنسبة للحيوانات المجترة فإن المثبطات ليست مهمة والتحميص غير ضروري. يجب أن يتم التحكم في عملية التحميص نظراً لأن التسخين الزائد "Overheating" سوف يخفض إتاحة اللايسين والأرجينين ويخفض قيمة البروتين.

تشكل الأكساب غذاء مفيداً جداً لحيوانات وحيدة المعدة شريطة أن تكون معدة بطريقة مناسبة، ومن ناحية أخرى، عند استخدام كسب فول الصويا كمصدر رئيسي للبروتين للحيوانات وحيدة المعدة فقد تنشأ مشاكل معينة. الكسب مصدر فقير في فيتامينات B، وهذه يجب توفيرها إما على شكل إضافات أو في صورة بروتين حيواني مثل مسحوق السمك. إذا لم تطبق تلك التغذية التكميلية فإن إناث الخنازير قد تنتج خلفات ضعيفة والتي تنمو وذلك بسبب إنقاص إنتاج اللبن، وقد يظهر على الخنازير الكبيرة فقدان الاتزان وضعف المشي. عند استخدام مثل هذا الغذاء، فإن دجاج التربية ينتج بيضاً بنسبة فقس ضعيفة مؤدياً لإنتاج كتاكيت بنوعية ضعيفة؛ و ربما يكون لدى تلك الكتاكيت حساسية زائدة للنزف بسبب نقص فيتامين K.

كسب فول الصويا مصدر للكالسيوم والفوسفور أفضل من حبوب الغلال، إلا انه عندما يحل محل بروتين حيواني يجب إجراء تعديلات غذائية، خصوصاً للحيوانات سريعة

النمو والدجاج البياض. طالما استخدمت التغذية التكميلية الكافية فإنها قد تشكل نحو 400 كجم/طن من أغذية الدواجن و 250 كجم/طن في أغذية الخنازير.

و يحتوي كسب فول الصويا حوالي 1 جم/كجم من الجينستين (genistein)، والتي لها خصائص استروجينية بفعالية نحو 4.44 × 10^{-6} مرة من مادة (diethylstilboestrol). إن تأثير هذا المكوّن على معدل النمو لم يتضح بعد.

إن لزيت فول الصويا تأثيراً مليناً وقد يسبب في إنتاج دهن ناعم في الجسم. و لا تحتوي الكسبة المستخلصة على كمية تكفي لإحداث هذه المشكلة ولكن يجب وضع هذا الاحتمال بعين الاعتبار وذلك بالنظر إلى تزايد الاتجاه في استعمال منتجات الصويا كاملة الزيت في تكوين الأغذية، خصوصاً للخنازير. و يتم إنتاج المنتجات كاملة الدهن عن طريق طبخ الدفعة بالضغط أو البثق (extrusion) للحبة بالكامل. المنتج المنبثق عن ذلك به محتوى مرتفع من الطاقة الأيضية إلا أن هذه الميزة قد تلغي لو تم طحن المنتجات وتحبيبها.

كسب بذرة القطن Cottonseed meal

يكون بروتين كسب بذرة القطن جيد النوعية ولكن به العيوب الشائعة في بروتينات البذور الزيتية وهو نقص محتوي السيستين، الميثايونين واللايسين والمذكور في الأخير هو الحمض الأميني الهام الأول. محتوى الكالسيوم منخفض وبالتالي فإن نسبة الكالسيوم إلى الفوسفور تصبح حوالي 6:1، والنقص في الكالسيوم قد تنشأ بسهولة. و يعتبر هذا الكسب مصدراً جيداً للثيامين بالرغم من أنه متباين ولكنه مصدر فقير في الكاروتين.

عندما يستخدم كسب بذرة القطن كمصدر بروتين للخنازير الصغيرة، الحاملة أو الخنازير المرضعة، أو للدواجن الصغيرة أو البياض، فيجب أن يتم دعمه غذائياً بمسحوق السمك أو مسحوق اللحم والعظام لتصحيح نقص الأحماض الأمينية والكالسيوم، كذلك يجب توفير إضافات من فيتامينات A و D. لا تتقبل الخنازير والدواجن هذا الكسب بسهولة وهذا في غالب الأحيان بسبب طبيعته الغبارية الجافة. لا يتوقع مواجهة تلك العقبة فيما يتعلق بأبقار اللبن، بالرغم من احتمال ظهور مضاعفات عندما تعطي منه كميات كبيرة نظراً لميول دهن اللبن إلى أن يصبح صلباً وثابتاً.

الزبدة المصنوعة من ذلك الدهن عاده صعبة المخض churn وتميل لتكوين شحم متزنّخ (tallowy taints). و ثمة عامل آخر يؤخذ في الاعتبار عند استخدام كسب بذرة القطن هو تأثيرها المسبب للامساك (Costive action). و هذه ليست مشكلة معتادة وربما تكون مفيدة حقاً في الأغذية المحتوية على كميات كبيرة من المكونات الملينة.

و قد تحتوي بذرة القطن من 0.3 إلى 20 جم/كجم مادة جافة من صبغة صفراء تعرف بالجوسيبول (Gossypol) وقد ذكرت تركيزات من 4 إلى 17 جرام/كجم مادة جافة من البذرة. الجوسيبول الدهيد فينولي متعدد (Alkanal) وهو مضاد للتأكسد، ومادة مثبطة للبلمرة سامة للحيوانات وحيدة المعدة. الأعراض العامة للتسمم بالجوسيبول هي ضعف الشهية، فقد في الوزن، تنفس مُجهد وعدم انتظام ضربات القلب. النفوق عادة مصحوب بانخفاض قدرة حمل الأكسجين من قبل الدم، مظاهر التحلل على كريات الدم الحمراء وضعف دوران الدم. و يظهر على الفحوصات التي تجري بعد النفوق غالباً استسقاء شديد

في تجاويف الجسم، مبيناً الأثر على نفاذية الغشاء. بالرغم من أن التسمم الحاد غير شائع، إلا أن تناول كميات قليلة على مدى فترة طويلة قد يكون مميتاً. كان الاعتبار المهم في الماضي، هو التمييز بين الجلوسيبول الحر (ذائب في 70 إلى 30 حجم/ حجم أسيتون مائي) والجوسيبول المرتبط نظراً لأن النوع الأول فقط يعتبر نشطاً فسيولوجيا إلا أن هذا لايلغي الفرضية العامة بأن محتوى الجوسيبول الحر هو الذي يحدد الفعالية السامة للمادة. و يتناقص محتوى الجوسيبول في كسب بذرة القطن أثناء التجهيز ويختلف تبعاً للطريقة المستخدمة. المواد الناتجة بالمعصر اللولبي بها 200 إلى 500 ملجم جوسيبول حر/كجم، و الأكساب المستخلصة بالمذيب والعصر المبدئي 200 إلى 700 ملجم والمستخلصة بالمذيب 1000 إلى 5000 ملجم/كجم. و يجب أن يتم التحكم في عمليات العصر بدقة للحد من الفقد في جودة البروتين بسبب ارتباط الجوسيبول مع اللايسين عند درجات الحرارة العالية. و لحسن الحظ فإن تأثير القص بالمعصر اللولبي أثناء عملية العصر يعتبر مثبطاً فعالاً للجوسيبول عند درجات حرارة لا تقلل جودة البروتين.

لقد أخذ في الاعتبار بأن أغذية الخنازير والدواجن يجب ألا تحتوي على أكثر من 100 ملجم جوسيبول حر/كجم وأن إدخال كسب بذرة القطن يجب أن تكون بين 50 و 100 كجم/طن.

يلزم اهتمام خاص فيما يتعلق بالدجاج البياض نظراً لان مستويات قليلة نسبياً من الكسب قد تسبب تغير لون صفار البيض إلى الأخضر الزيتوني عند التخزين. و يعتبر الاليبومين المصحوب بتغير لون أحمر وردي حالياً بأنه بسبب (cyclopropenoids) وليس

بسبب الجوسيبول كما كان معتقداً. و يمكن أن تحسن المعاملة بكبريتات الحديدوز تأثيرات الجوسيبول، بجرعات تتراوح من 1 إلى 4 أجزاء لكل جزء من الجوسيبول. و لا يبدو على الحيوانات المجترة مظاهر المرض حتى عندما تستهلك كميات كبيرة من كسب بذرة القطن. و يتم في المملكة المتحدة التحكم وبدقة في محتوى الجوسيبول الحر في الأغذية بواسطة القانون، فالأغذية الخالصة أو النقية (Straight foods)، باستثناء كسب أو مسحوق القطن، يجب ألا تحتوي على أكثر من 20 ملجم/كجم و يطبق نفس المستوي على الأغذية الكاملة للدجاج البياض وصغار الخنازير (Piglets). فيما يتعلق بالدواجن والعجول الحد هو 100 وبالنسبة للخنازير 60 وللأبقار، الضأن والماعز 500. يسمح لاكساب ومسحوق القطن بأن تحتوي نحو 1200 ملجم جوسيبول حر/كجم. و تشير التركيزات إلى أغذية بمحتوى رطوبة نحو 12%.

كسب جوز الهند Coconut meal

يتفاوت محتوى الزيت في كسب جوزة الهند من 25 إلى 65 جم/كجم، وقد استخدمت أكساب بمحتوى زيت أعلى وذلك في تحضير أغذية عالية في الطاقة. و من ناحية أخرى، فهي تعاني من عيب كونها حسَاسة لتصبح متزنخة عند التخزين. البروتين منخفض في اللايسين والهستدين وهذا مع محتوى مرتفع في الألياف عموماً حوالي 120 جم/كجم يقيد استخدام الكسب للحيوانات وحيدة المعدة. و عادة ينصح بأن يمثل هذا الكسب أقل من 25 كجم/طن في أغذية الخنازير وأقل من 50 كجم /طن في أغذية الدواجن. عند توفر كسب جوزة الهند منخفضة الألياف للحيوانات وحيدة المعدة يجب

دعمها غذائياً ببروتينات حيوانية لتصحيح النقص في الأحماض الأمينية. إن أي من جودة البروتين أو محتوى الألياف لن يكون مقيداً للحيوانات المجترة ويوفر كسب جوزة الهند مكملاً بروتينياً مقبولاً ومفيداً جداً. هناك رأي بأنه في أغذية أبقار اللبن يرفع محتوى الدهن. و أظهر البحث الحديث زيادة محتويات زبدة اللبن في أبقار أعطيت إضافات غذائية من كسب جوزة الهند شريطة أن الغذاء الأساسي به محتوى دهن حوالي 10 جم/كجم فقط. و تكون دهون اللبن الناتجة من أغذية محتوية كميات كبيرة من كسب جوزة الهند صلبة وممتازة لعمل الزبدة. كسب جوزة الهند له خاصية ذات قيمة في امتصاص نحو نصف وزنه من الدبس(المولاس) ونتيجة ذلك فهو شائع في تكوين الأغذية المركبة.

مسحوق نوى النخيل Palm kernel meal

هذا الغذاء منخفض نسبياً في محتوى البروتين وتوازن الأحماض الأمينية متدني، والحمض الأميني الهام الأول هو اللايسين. نسبة الكاسيوم إلى الفوسفور مناسبة أكثر من أي من مخلفات البذورالزيتية الأخرى. الكسب الحالي يكون جافاً و رملي القوام، وخاصة المنتج المستخلص بالمذيب، ولا يؤكل مباشرةً؛ بناءً عليه فهو يستخدم في مخاليط مع أغذية أكثر قبولاً. محاولات لاستخدامه مخلوطاً بالمولاس في صورة كسب نواة النخيل والمولاس لم تتكلل بالنجاح. له شهرة في زيادة محتوى الدهن في اللبن واستخدامه الرئيسي يكون لأبقار اللبن. لقد ذكر بأن كسب جوزة الهند متزناً لإنتاج اللبن ولكن في الحقيقة يحتوي نسبة عالية من البروتين مقابل الطاقة. و لا يستخدم كسب جوزة الهند بتوسع في أغذية الخنازير أو الدواجن، وهذا راجع جزئياً إلى انه غير مستساغ وجزئياً بسبب ارتفاع محتواه من الألياف (

150 جم/كجم مادة جافة)، والذي يخفض معامل هضمه عند تلك الحيوانات. و لعل المستويات الأعلى التي يوصى بها من كسب جوزة الهند في غذاء الحيوانات وحيدة المعدة تكون حوالي 200 كجم/طن.

كسب بذرة الكتان Linseed meal

و هو فريد من بين مخلفات البذور الزيتية في أنه يحتوي من 30 إلى 100 جم/كجم هلاميات نباتية (mucilage). هذه الهلاميات غير مهضومة كلياً بواسطة الحيوانات وحيدة المعدة ولكنها قد تتكسر عن طريق الاعداد الميكروبية في الكرش. و تنتشر هذه المادة بسهولة في الماء، مكونة لزيجاً مهلهلاً (Viscous slim). و تحتوي بذرة الكتان غير الناضجة كمية قليلة من جلايكوسيد مولد للسيانيد Linamarin،Cyanogenetic وإنزيم مصاحب له وهو Linase، والذي يكون قادراً على تحليله مائياً مع نشؤ سيانيدهيدروجين " hydrogen cyanide " وهذا سام جداً. و ينتج النفوق من اتحاد السيانيد مع إنزيم سايتوكروم أوكسيديز Cytochrome oxidase، مما يؤدي إلى توقف فوري في التنفس الخلوي ونقص الأوكسجين عن الأنسجة (anoxia). قد ينتج إزالة الزيت بدرجة الحرارة المنخفضة كسباً يكون به Linamarine غير متغير مع استمرار إنزيم Linase؛ تم إثبات أن تلك الأكساب تكون سامة عندما تعطي صورة ثريد "كتل" نظراً لأن إنتاج السيانيد يبدأ بمجرد إضافة الماء. و يعتبر الكسب آمن عندما يعطي في الحالة الجافة نظرا لان pH محتويات معدة الخنزير منخفضاً بما يكفي لتثبيط إنزيم Linase. تحطم ظروف التجهيز العادية إنزيم Linase ويكون معظم جلايكوسيد (linamarine) والكسب الناتج مضموناً تماماً. في الحيوانات

المجترة، سيانيد الهيدروجين الناتج من نشاط إنزيم Linase يمتص في الدم بشكل بطيء جداً، وهذا مقرون مع إزالة سريعة للسمية في الكبد وإخراجه خلال الكلى والرئتين، يضمن بأنه لا يصل مطلقاً مستويات سامة في الدم.

و في المملكة المتحدة، يجب أن تحتوي كسب أو مسحوق بذرة الكتان، قانونا، أقل من 350 ملجم من Hydrocyanic acid لكل كيلوجرام من الغذاء بمحتوى رطوبة نحو 12%. و لقد تبين أن لكسب بذرة الكتان نشاطاً وقائياً ضد التسمم بالسيلينيوم.

بروتين كسب بذرة الكتان ذو جودة اقل من اكساب فول الصويا أو بذرة القطن، محتويات الميثايونين واللايسين به اقل. كسب بذرة الكتان به محتوى متوسط من الكالسيوم فقط ولكنه غني بالفوسفور، جزء منه موجود كفايتات (phytate). يعتبر مصدراً مفيداً للثيامين، الرايبوفلافين، النيكوتين أميد (nicotinamide)، حمض البانتوثينيك والكولين.

إنّ لكسب بذرة الكتان شهرة واسعة كغذاء للحيوانات المجترة وهذا ليس من السهل إثباته على أساس تحليله التقريبي. و قد يكون جزء من هذه الشهرة نتيجة قدرة الهلاميات (mucilage) على امتصاص كميات كبيرة من الماء، يؤدي إلى زيادة في كتلة الكسب؛ و قد يزيد هذا زمن احتجازه في الكرش ويعطي فرصة أحسن للهضم الميكروبي. إن خاصية الهلام المخففة للاحتكاك تعمل أيضاً على حماية جدار القناة ضد التلف الميكانيكي، وبالإضافة إلى كتلته المالئة (bulkiness)، ينظم الإخراج وهناك رأي بأنه يحد من الإمساك بدون التسبب في تلين الأمعاء (looseness).

عندما يعطي كسب بذرة الكتان لحيوانات التسمين ينتج زيادات سريعة مقارنة مع إضافات البروتين النباتية الأخرى مكوناً نفس مساهمة البروتين؛ و تحقق الأبقار درجة عالية في المظهر تبدو عليها أمارات الصحة بالرغم من أن دهن الجسم قد يكون طرياً. يؤكل الكسب بسرعة من قبل أبقار اللبن ولكنه يميل لإنتاج دهن لبن طري والذي يكون حساساً لتطور التزنخ الاوكسيدي " oxidative rancidity ".

و يعتبر كسب بذرة الكتان غذاءً بروتينياً ممتازاً للخنازير طالما تم إعطاؤه مع مكمل بروتين حيواني لتصحيح النقص في الميثايونين، اللايسين والكالسيوم، ويكون هذا مهماً بدرجة خاصة فيما يتعلق بالأغذية المحتوية على كميات كبيرة من الذرة.

كسب بذرة الكتان غذاء غير مناسب لتضمينه في أغذية الدواجن، حيث تبين أن هناك تأخراً في نمو الكتكوت على أغذية محتوية على 50 كجم/طن من كسب بذرة الكتان، والنفوق في فروج (Poults) الرومي عند مستوى 100 كجم/طن. و يمكن تجنب هذه التأثيرات الشديدة بواسطة معاملة الكسب بالمعقم (Outoclaving) أو عن طريق زيادة مستويات فيتامين B_6 في الغذاء، ويعتقد بان الكسب غير المعامل يحتوي على عامل مضاد للبايري دوكسين غير معرّف (Unidentified anti-pyridoxine factor). بعض الباحثين يعتبرون أن التأثيرات الشديدة للكسب تكون نتيجة الهلام نظراً لأن هذه تتجمع في شكل كتلة علكية على المنقار، مسببة للتنكرز (necrosis) وتشوه (malformation) وعدم قدرة الطير على الأكل. و قد يتغلب التحبيب أو التحبيب الخشن على هذه المشكلة. عندما

تشتمل أغذية الدواجن على كسب بذرة الكتان فإن المستويات يجب ألا تتجاوز 30 كجم/طن.

كسب بذرة اللفت **Rapeseed meal**

قدّر الإنتاج العالمي من بذرة اللفت عام 1981 بحوالي 11.5 مليون طن، وهذا جعله في الترتيب الخامس من حيث الأهمية في محاصيل البذور المنتجة للزيت. تشير الصورة الحالية إلى زيادة الإنتاج، خصوصاً في أوروبا الغربية حيث شجع على سرعة إنتاجه الاتحاد الأوروبي. قدّرت بذرة اللفت عام 1983 بنحو 37 % من البذور الزيتية المعصورة في المملكة المتحدة، وفي عام 1991 كان الرقم 60 %. كان الإنتاج في المملكة المتحدة في 1992 نحو 1.25 مليون طن مقارنه مع 402000 في عام 1981 – 82.

و ينتج استخلاص الزيت بواسطة الاستخلاص بمذيب بعد العصر المبدئي مخلّفاً يحتوي حوالي على 400 جم بروتين/كجم مادة جافة، ويحتوي على ألياف (140 جم/كجم مادة جافة) وهي أكثر من محتوي الألياف في كسب فول الصويا وقيمته من الطاقة الأيضية أقل، حوالي 7.4 ميجا جول/كجم مادة جافة للدواجن، 11.5 للخنازير وحوالي 11.1 للمجترات. كل من محتوى البروتين ومعامل الهضم أقل نسبةً إلى كسب فول الصويا إلا أن توازن الأحماض الأمينية يقارن بشكل ايجابي، الكسب به حمض اللايسين أقل ولكن الميثايونين أكثر. توازن الكالسيوم والفوسفور ملائم ويحتوي محتوى من الفوسفور أعلى من مخلّفات البذور الزيتية الأخرى. و قد وضعت لاستخدام إكساب بذرة اللفت المنتجة من الصنف (*Brassica napus*) المزروع في أوروبا بعض القيود، وخصوصاً فيما يتعلق بالخنازير

والدواجن وفقاً لوجود جلوكوسينوليت (thioglucosides) مصحوباً بإنزيم thioglucosidase يعرف بالمايروسينيز (myrosinase). و قد ينشأ عن هذا تحت ظروف مختلفة (isothiocyanates)، organic thiocyanates، nitriles ومادة مولدة للجوبتر تسمى

.5-vinyloxazolidine 2- thione (goitrin)

تظهر هذه المركبات تأثيرات سامة مختلفة تبينت في الجويتر (goiters) وتسمم الكبد والكلي. إن وجودها ليس خطيراً فيما يتعلق بالحيوانات المجترة بالرغم من وجود دليل على انخفاض المأكول، ضرر خفيف في الكبد وانخفاض إنتاج الأحماض الدهنية الطيارة عندما حقنت السموم عن طريق الفم. يبدو أنه لا يوجد سبب يمنع استخدام أكساب بذرة اللفت كمصدر رئيسي وإن لم يكن الوحيد كبروتين إضافي للمجترات الناضجة، أما فيما يتصل بالخنازير فإنه يلزم الاهتمام بشكل كبير عند استخدام الأكساب. انخفاض المأكول من الغذاء والنمو، مترافقاً مع نوعية ذبيحة رديئة، ثم إثباته عند الخنازير الناهية (finishing pigs). و قد أظهرت الخنازير الصغيرة (Piglets) معدلات منخفضة في البقاء وتضخم في الغدة الدرقية عندما تضمن غذاء الأمهات مستويات عالية من كسب بذرة اللفت. تحتوي بذور اللفت على erucic acid والذي عرف بأنه يسبب تقرحات في القلب في الحيوانات التجريبية، إلا انه لا يرجح بأن يكون مشكلة لحيوانات المزرعة نظراً لتجزيئه مع الزيت أثناء الاستخلاص. و يتحقق مقياس معين للتحكم في النشاط المسبب للجويتر في الأكساب بمعالجة البذور المعاملة مبدئياً قبل الاستخلاص وذلك لضمان احتمال تحطم مبكر لإنزيم

(myrosinase). و يكون مثل ذلك التحكم جزئياً فقط، نظراً لان الإنزيمات البكتيرية (bacterial thioglucosidases) المنتجة في القناة الهضمية قد تحلل المتبقي من الجلوكوسينوليت (glucosinolate) في الكسب.

تنتج الأكساب الكندية من أصناف منتخبة من بذرة اللفت (*B. campestris*) و يشار إليها بالأصناف double - low أو double - zero نظراً لأن بها محتويات منخفضة كثيراً من الجلوكوسينوليت وحمض erucic acid. و تعرف الأكساب المنتجة من هذه الأصناف بأكساب الكانولا Canola meals وبها أقل من ثمن ($\frac{1}{8}$) الجلوكوسينوليت الموجود في الأكساب عالية الجلوكوسينوليت High Glucosinolate Rapeseed Meals (HGRSM) والتي تم إنتاجها أحيانا في أوروبا. و تنتج الأكساب المنخفضة المزدوجة أو حتى الثلاثية (LGRSM) الآن في أوروبا ويرجح أن الأكساب عالية الجلوكوسينوليت سيتوقف توفرها في المستقبل القريب. إن إمكانية استخدام أكساب منخفضة الجلوكوسينوليت في أغذية الخنازير والدواجن يكون كبيراً، ولكن يجب الأخذ في الاعتبار الحاجة إلى تكملة الأحماض الأمينية، وخصوصاً اللايسين، و عند استعمال مستويات عالية منه. يجب التذكير بأن العوامل المضادة للتغذية لا تزال موجودة، حتى عند مستويات مخفضة، في الأكساب منخفضة الجلوكوسينوليت. و لهذا أهمية خاصة في الخنزير المفطوم مبكراً، حيث قد يكون انخفاض المأكول مهماً ومع حيوانات التربية بسبب التأثير المحتمل على الجنين.

إنّ أكساب بذرة اللفت كثيراً ما تحتوي على التانينات (tannins)، وهي مركبات فينولية متعددة تكوّن معقداً مع البروتينات والكربوهيدرات لتشكل مواد خاضعة للتفاعل مقاومة للإنزيم مما يترتب عنه خفض معامل الهضم. و قد ينتج هذا كذلك من إتحاد التانينات بالإنزيمات الهاضمة مما ينشأ عنه فقد في نشاطها. قد تسب التانينات تلف الغشاء المخاطي المعوي ويعرف على أنها تتداخل مع امتصاص الحديد. دليل المستويات المسموح بها لتشتمل الأغذية على أكساب بذرة اللفت متضاربة، وتلك المتعلقة بالأكساب العالية أو المنخفضة في الجلوكوسينوليت تختلف بشكل ملحوظ، كما هو مبين في جدول 3.23.

و تحتاج الاستجابات عالية الاختلاف نتيجة إدخال أكساب بذرة اللفت في الأغذية إلى أن تطبيق هذه الأرقام عملياً يؤخذ بحذر. و تعتبر بعض السلطات، مثلاً، أن أكساب بذرة اللفت يجب ألا تستخدم في أغذية البادئ أو إناث الخنازير وبأن المستويات في أغذية النامي والناهي يجب ألا تتجاوز 50 و 100 كجم/طن على التوالي.

و فيما يتعلق بالعجول أقل من 100 كجم، يجب تحديد مستويات (HGRSM) في الأغذية إلى 100 كجم/ طن بينما (LGRSM) قد تعمل كمصدر وحيد للبروتين المكمل لتلك الحيوانات. بالنسبة للحيوانات الناضجة أكثر يبدو أنه (HGRSM) يمكن أن تستخدم كمصدر رئيسي للبروتين المكمل وأن (LGRSM) كبروتين مكمل وحيد. يوجد دليلاً على أن استهلاك (HGRSM) ربما يكون له تأثيرات مفيدة على الأداء، وذلك بسبب احتمال خفض معدل الأيض. و فيما يتعلق بأبقار اللبن ربما تشكل (HGRSM) نحو 100 كجم/طن من العلف المركز وأن (LGRSM) قد تستخدم كمصدر وحيد للبروتين.

قد يتأثر نمو الكتكوت وبشدة إذا تجاوزت وبشدة معدلات إدخالها 5 %. بيض بعض الدجاج المنتج للبيض ذو القشرة البنية يكون حساساً لتكوين الرائحة السمكية (fishy taints) عندما يشتمل الغذاء على كسب بذرة اللفت. إن هذا بسبب عدم قدرة هذه الطيور على أكسدة مركب trimethylamine الناتج من إسترالفينول المتعدد مع الكولين (Sinapine).

جدول 3.23 أفضل التقديرات للمستويات المسموح بها لتضمين مسحوق بذرة اللفت في أغذية الخنزير.

	مساحيق عالية الجلوكوسينوليت (كجم/طن)	مساحيق منخفضة الجلوكوسينوليت (كجم/طن) المملكة المتحدة	Canola
خنازير بادئه (7–15كجم وزن)	**40**	**50**	**80**
خنازير نامية (15–45 كجم وزن)	**50**	**100**	**120**
خنازير ناهية (>45 كجم وزن)	**80**	**150**	**150**
خنازير صغيرة	**0**	**100**	**120**
إناث الخنازير	**30**	**120**	**120**

و في المملكة المتحدة، يجب أن يحتوي الغذاء ككل (قانوناً) على أقل من 1000 ملجم vinylthioxazolidine /كجم ماعدا أغذية الدجاج البيّاض والتي يجب أن تحتوي على أقل من 500 ملجم/كجم. مستويات isothiocyanates في كل الغذاء تم وصفها بشكل دقيق، وأن أكساب أو مساحيق اللفت يجب أن تحتوي على أقل من 4000 ملجم allythiocanate لكل كيلو جرام إشارة إلى محتوى رطوبة نحو 12 %.

كسب الفول السوداني Groundnut meal

تنتج بذور الفول السوداني في قرون، وهي عادة في أزواج أو ثلاثات. تحتوي البذور 250 إلى 300 جم/كجم بروتين خام و 350 إلى 600 جم/كجم مواد دهنية، حيث تكون القرن أو القشرة ليفية بشكل كبير. و يعد كسب الفول السوداني عادةً من الحبوب وأحياناً يمكن أن يستخدم القرن ككل كمصدر، عند إنتاج الكسب غير المقشور. و لعل الطريقة الأكثر شيوعاً للاستخلاص هي المعصر اللولبي، و تعطي كسباً به 50 إلى 100 جم/كجم زيت. و قد تتحقق مستويات زيت أقل فقط عن طريق الاستخلاص بالمذيب، ولكن على أن تكون هذه مسبوقة بالمعصر اللولبي لخفض محتوى الزيت المبدئي المرتفع. وسوف تعتمد مكونات الكسب على المادة الخام وطريقة الاستخلاص المستخدمة.

إنّ لبروتين كسب الفول السوداني كميات أقل من المثلى فيما يخص السيستين والميثايونين، على الرغم من أن الحمض الأميني الهام الأول هو اللايسين. و عند استعمال هذا الكسب في أغذية عالية الحبوب، فإن التغذية التكميلية ببروتين نباتي تكون ضرورية. و لعل هذا يضمن كذلك تصحيح النقص في فيتامين B_{12} والكالسيوم. تكون تلك التغذية التكميلية مهمة خصوصاً للحيوانات الصغيرة سريعة النمو كالخنازير والدواجن. استساغة الخنازير للكسب عالية، ولكن يجب أن لا تشكل أكثر من 25 % من الغذاء بما أنها تميل لتنتج دهن جسم طري وربما يكون لها تأثير ملين مزعج. و يحدد هذا أيضا استخدامه لأبقار اللبن والتي من الممكن أن يشكل لها مصدراً ممتازاً من البروتين المقبول. ولقد تبين وجود كل من عامل النمو والعامل المضاد للتريبسين في كسب الفول السوداني، والأخير له نشاط مضاد للبلازمين وبناءاً عليه يقلل زمن النزف، و يتكسّر هذا العامل بالحرارة.

و قد ظهرت في عام 1961 تقارير بأن دفعات معينة من كسب الفول السوداني كانت سبباً في تسمم فروج الرومي وصغار البط. و لقد تبين أن العامل السام هو مركب أيضي وسطي ناتج من الفطر (*Aspergillus flavus*) وسمي افلاتوكسين (aflatoxin). و هذا يعرف الآن على أنه خليط من أربع مركبات صنفت بالافلاتوكسينات B_1،G_1،B_2 وG_2 حيث B_1 هو أكثر سمية. يوجد هناك اختلافات كبيرة بين أنواع الحيوانات من حيث الحساسية لهذه السموم، حيث فروج الرومي وصغار البط حساسة جداً، العجول والخنازير حساسة، بينما صنفت الفئران والأغنام بأنها مقاومة، و لعل الحيوانات الصغيرة أكثر حساسية من الحيوانات الكبيرة عند نفس العمر. إنّ الميزة الشائعة في الحيوانات المصابة يكون تلفاً في الكبد مع تضخم ملحوظ في قناة الصفراء، تنكرزاً (موتاً موضعياً بالأنسجة الحية) الكبد، وأوراماً كبدية في عدة حالات. يتضح في الواقع، أن الافلاتوكسين سم قوي على الكبد ومسرطن سريع جداً.

و هناك تقارير عديدة عن النفوق في العجول تحت عمر ستة أشهر عندما غذيت على كسب الفول السوداني الملوث. و لعل الأبقار المتقدمة في السن مقاومة أكثر إلا أن هناك تقارير عن نفوق في أبقار التسمين (Store cattle) وفقد الشهية وانخفاض إنتاج اللبن في الأبقار.

و لقد حدثت حالات نفوق في عجول التسمين التي عمرها ستة أشهر عندما أعطيت 1 ملجم/كجم من أفلاتوكسين B_1 في غذائها لفترة 133 يوم وقد انخفضت الزيادات في الوزن الحي عموماً.

لقد خفض إعطاء نحو 0.2 ملجم/كجم من أفلاتوكسين B_1 في أغذية عجول سلالة أيرشاير (Ayrshire) زيادات الوزن الحي. و لقد أظهرت التجارب أن تضمين 150 إلى 200 كجم/طن من الفول السوداني السام في أغذية أبقار اللبن يسبب انخفاضاً واضحاً في إنتاج اللبن. و قد اتضح أن مركباً أيضياً وسطياً من الافلاتوكسين معروفاً بأفلاتوكسين M_1، والذي يسبب تلف الكبد في صغار البط أتضح بأنه موجود في لبن الابقار المغذاة على اكساب سامة. و لم يثبت تأثير الافلاتوكسين على الإنسان بشكل واضح. كما أنه لا توجد هناك تقارير للتسمم الإكلينيكي في الأغنام.

الافلاتوكسينات ثابتة نسبياً ضد الحرارة، وقد تم تطوير طرق إزالتها من الأكساب. الطريقة الأفضل للسيطرة هي التخزين المناسب للحد من نمو الفطر، بالرغم من أن الافلاتوكسينات قد تنتج في المحصول النامي. في المملكة المتحدة نجد أن الحدود العليا الموصوفة من الافلاتوكسينات في أغذية الحيوانات وهي موضوعة بالقانون كما يلي:

	ملجم أفلاتوكسين B_1/كجم (إشارة إلى محتوى رطوبة 12%)
المواد العلفية الصرفة (النقية)	**0.05**
فيما عدا:	
الفول السوداني، لب جوز الهند المجفف، نواة النخيل، بذرة القطن، نخيل برازيلي، الذرة والمنتجات الثانوية المشتقة من عمليات تجهيزها.	**0.02**
غذاء كامل للأبقار، الضأن والماعز(باستثناء حيوانات اللبن، العجول، الحملان والجديان)	**0.05**
غذاء كامل للخنازير والدواجن (باستثناء صغار الخنازير والكتاكيت)	**0.02**
الأغذية الكاملة الأخرى	**0.01**
أغذية تكميلية للأبقار، الأغنام والماعز (ماعدا الأغذية التكميلية لحيوانات اللبن،	**0.05**

العجول والحملان)	
أغذية تكميلية للخنازير والدواجن(ما عدا الحيوانات الصغيرة)	**0.03**
أغذية تكميلية أخرى	**0.005**

إن صرامة هذه المقاييس بالإضافة إلى صعوبة ضمان أن منتجات الفول السوداني تتمشي معها كان العامل الرئيسي الذي ساهم في انخفاض استخدام منتجات الفول السوداني في صناعة الأغذية المركبة في المملكة المتحدة حيث تشغل حالياً ترتيباً ثانوياً.

كسب بذرة عباد الشمس Sunflower seed meal

ينتج الكسب عندما يتم إزالة الزيت من البذرة عن طريق الضغط الهيدروليكي أو الاستخلاص بمذيب. تزال عادة القشرة جزئياً وليس كلياً، إلا أن الأكساب عالية الألياف الناتجة (نحو 420 جم/كجم مادة جافة) تقبل عليها الحيوانات المتقدمة في السن بسرعة شريطة أن تطحن جيداً. كنتيجة الاختلافات في حجم إزالة القشرة قبل الاستخلاص، و تختلف الأكساب كثيراً في المكونات والقيمة الغذائية.

و تحتوي الأكساب المستخلصة بمذيب ، في المتوسط على حوالي 200 جم ألياف خام وحوالي 430 جم بروتين خام لكل كيلوجرام مادة جافة ومحتويات الطاقة الأيضية بها نحو 8.1، 10.4 و 11.2 ميجا جول/كجم مادة جافة للدواجن، الأبقار والأغنام على التوالي. بالنسبة للخنازير، محتوى الطاقة المهضومة نحو 10.6 ميجا جول/كجم مادة جافة يمكن أنه مناسب. الأكساب الناتجة من عملية العصر بها محتويات دهن أعلى، وألياف خام وبروتين خام أقل و فيما يتعلق بالأبقار فإنّ قيم الطاقة الأيضية حوالي 13 ميجا جول/كجم مادة

جافة. زيت عباد الشمس به محتوى عالٍ من الأحماض الدهنية غير المشبعة العديدة (PUFA) وقد يسبب دهن جسم طري في الخنازير، خصوصاً عند إعطاء الأكساب الناتجة من عملية العصر.

الزيت حساس جداً للأكسدة و تكون الأكساب فترة تخزينها قصيرة بسبب حدوث التزنخ والذي يجعلها غير مستساغة. الأكساب مصادر مفيدة من البروتين والذي يكون منخفضاً في اللايسين، وهو الحمض الأميني الهام الأول، إلا أن بها حوالي ضعف مقدار الميثايونين الموجود في بروتين فول الصويا.

المعدلات القصوى الموجودة في الأغذية 200 كجم/طن للأبقار الناضجة، 150 كجم/طن للأغنام الناضجة، 25 كجم/طن للخنازير النامية، 50 كجم/طن لخنازير التسمين الناهية و 100 كجم/طن لإناث الخنازير. و لا ينصح باستخدامها للعجول، الحملان والخنازير الصغيرة. و فيما يتعلق بالدواجن الناضجة، فقد تدخل أكساب الفول السوداني بنحو 100 كجم/طن من الغذاء ولكن لا ينصح بها للطيور الصغيرة.

كسب بذرة السمسم Sesame seed meal

ربما تنتج الأكساب المتوفرة في الوقت الحاضر بواسطة المعصر الهيدروليكي أو الاستخلاص بمذيب. الأول به محتوى بروتين منخفض (حوالي 400 جم/كجم مادة جافة مقارنة مع 500 جم/كجم مادة جافة بالنسبة للمادة المستخلصة بمذيب)، إلا أن به محتويات زيت أكثر من 100 جم/كجم مادة جافة مقارنة مع 20 جم/كجم مادة جافة بالنسبة للكسب المستخلص بمذيب ويجعله أكثر أهمية في الإسهام في طاقة الغذاء.

البروتين غني بالليوسين، الارجينين والميثايونين إلا أنه منخفض نسبياً في اللايسين. و بناء عليه، فإن الكسب يلزم خلطه مع الأغذية الغنية باللايسين عندما يغذى للخنازير أو الدواجن. و تعتمد قابلية البروتين للتحلل من 0.65 إلى 0.75 على معدل المرور خلال الكرش.

وربما يؤدي الزيت المتبقي بالكسب أو المسحوق غير المشبع بدرجة عالية إلى دهن طري في الجسم وفي اللبن عندما يُستهلك بكميات زائدة وكذلك قد يضفي على اللبن نكهة كريهة. يصبح الزيت متزنخاً بسرعة وغير مستساغ وأن نتيجته حالات نقص فيتامين E. الكسب به محتوى مرتفع من حمض الفايتيك (Phytic acid) وهذا يجعل ما به من فوسفور غير متيسر: ربما تحتاج العلائق المحتوية على هذا الكسب إلى تكملة إضافية بالكالسيوم.

تحتوي قشور بذور السمسم على أوكزالات (Oxalates) ومن الضروري أن يتم تقشير الأكساب تماماً لكي تتفادى السمية.

و تكون الأكساب التي في حالة جيدة مستساغة ولكن لها تأثير مسهّل. إن أغذية المجترات الصغيرة يجب ألا تحتوي على أكثر من 50 كجم/طن، بينما يكون المعدل الأقصى لإضافتها فيما يتعلق بالحيوانات الكبيرة هو من 100 إلى 150 كجم /طن. و يجب ألا يغذى الكسب للخنازير الصغيرة أو للدواجن إلا انه قد يضاف بحوالي 50 كجم/طن للحيوانات البالغة من هذه الأنواع.

بقايا البذور الزيتية ذوات الأهمية الثانوية

Oil seed residues of minor importance

إنّ عدداً من الأكساب غير المعروفة تماماً متوفرة بكميات قليلة نسبياً. و قيمتها عادةً الغذائية منخفضة وكذلك استساغتها وكثيراً ما تحتوي على مادة سامة، لذلك فإن استعمالها محدود على أنواع معينة من الحيوان عند معدل إدخال منخفض.

كسب حبة الكاكاو المستخلصة Extracted cocoa bean meal

تحتوي هذه الأكساب على تركيزات متباينة من الثيوبرومين (theobromine)، وهي مادة شبه قلوية مميتة للدجاج (chickens) وسامة للحيوانات وحيدة المعدة الأخرى و للمجترات الصغيرة. و بناءً عليه فإن هذه المواد مناسبة لتغذية المجترات البالغة فقط. و محتوى البروتين بها حوالي 150 جم/كجم مادة جافة وبمعامل هضم ظاهري بالنسبة للأبقار حوالي 0.40. و تتراوح القيم المستنبطة للطاقة الأيضية من 5.3 ميجا جول/كجم مادة جافة فيما يتعلق بالأبقار إلى 9.0 بالنسبة للأغنام. و يكون أعلى معدل غذائي مقترح لإدخاله بالنسبة للمجترات البالغة هو 30 كجم/طن من مجموع العليقة. نظراً لخطورة الاختبار الموجب للعقار المنشّط (Positive drug test)، فإن منتجات الكاكاو يجب ألا تعطى لخيول السباق.

كسب مكسرات الـShea* Shea nut meal (*Butyrospermum parkii*)

الأكساب بها محتويات بروتين حوالي 190 جم/كجم مادة جافة إلا أن معامل الهضم (الأبقار) منخفض جداً حوالي 0.12، و تعتبر قيمة الطاقة الأيضية للمجترات البالغة

* **Shea** : شجرة استوائية افريقية من عائلة : **Sapodilla** تنتج جوزة دهنية.

عادة حوالي نصف مما في الشعير. و تحتوي على مادة شبة قلوية، (Saponine)، وهي تسبب ضرراً للغشاء المخاطي الهضمي وتغيرات تحللية في الدم (haemolytic changes). أنه سام وخصوصاً للخنازير ولكن يمكن تحمله من قبل المجترات البالغة.

و تعتبر هذه الأكساب ذوات طعم لاذع ومنخفضة الاستساغة. و ربما يمكن أن تشتمل عليها العليقة بأعلى معدل للإدخال وهو نحو 100 كجم/طن من مجموع عليقة أبقار اللحم البالغة و 50 كجم/طن للمجترات البالغة الأخرى. و يجب أن يحمل المنتج ضماناً لمحتوى الصابونين (Saponine) إذا أخذ استعمالها في الاعتبار.

البذور البقولية **Leguminous seeds**

تعتبر البقوليات عائلة كبيرة من النباتات بها حوالي 12000 نوعاً معرّفاً. و توجد أربع فصائل (tribes) داخل هذه العائلة لها أهمية خاصة نظراً لأنها تشمل جميع الباقلاء والبسلة الشائعة. Hedysareae وتشمل ذوات الجذر الدرني؛ القرنية The Vicieae (القرنيات الفراشية) وتشمل الأجناس *Vicia*، *Ciser*، *Pisum*، *Lens* و *Lathyrus*؛ ثم Genisteae وتحتوي على جنس *Lupinus* التُرمُس، ثم the Phaseoleae وتشمل الأجناس *Glycine* , *Dolichos* ,*phaseolus*. العديد من النباتات البقولية سامة للحيوانات. الأنواع داخل جنس *Lathyrus* مثل الباقلاء الهندية (*L. sativus*)، تسبب تقرحات، بطء التطور الجنسي ودرجات مختلفة من الشلل والذي ثبت في بعض الاحيان بأنه مميت عند إصابة البلعوم. و تعرف الحالة بداء الجلبان (التسمم بالجلبان lathyrism وهي نتيجة -B aminopropionitrile) الموجود في البذرة.

فول الخيول *Vicia faba* قد يسبب حالة في الإنسان تعرف (favism)، وتتميز هذه الحالة بانيميا تحللية haemolytic anaemia وتحدث في إفراد لديهم عجز وراثي في إنزيم glucose-6-phosphate dehydrogenase في كريات الدم الحمراء. تحتوي باقلا *Phaseolus lunatus* (باقلا ليما، باقلا جافا) على جلوكوسيد مولد للسيانيد (phaseolunatin)، وهو سام جداً عندما يتحلل مائياً. الجلوكوسيد موجود، ولكن بكميات قليلة فقط، في أنواع مزروعة من (*P. lunatus*) مثل باقلاء الزبدة (butter bean). عدد من الأنواع وتشمل *C. ensiformis*، *D. biflorus*، *D. lablab*، *P. lunatus*، *P.vulgaris*، و *R. cummunis* من المعروف بأن جميعها تحتوي ليكتينات lectins والتي تعتبر سامه عند تناولها عن طريق الفم. و يجب معاملة بذور البقوليات غير المالوفة بجذر حتى يثبت أنها آمنة.

الباقلاء Beans

تنتمي الباقلاء إلى Vicieae و Phaseoleae وتستخدم كغذاء للإنسان والحيوانات في جميع أنحاء العالم. و لعل العنصر الرئيسي من Vivieae هو *Vicia faba*، المعروف بالفول البقلي، فول الخيل وباقلاء ويندسور Windsor bean. أكثر الأجناس عدداً من Phaseoleae هو *Phaseolus*، والنوع المعروف جيداً هو *P. vulgaris* وعدد من الأصناف varieties المعروفة بالكلية Kidney، الحقلية (field) البستانية (garden) والفاصوليا (haricot). و هناك عدد كبير من أنواع (phaseolus) الأخرى الهامة محلياً كمصادر غذاء، كما هو الحال في العديد من الأجناس الأخرى مثل اللوبيا (*Vigna*)، اللوبيا البصلية

(*Dolichus*) و *Canavalia*. الأنواع متشابهة جداً من الناحية الغذائية، وهي مصادر جيدة للبروتين وبمحتوى عالٍ من اللايسين وهي مصادر جيدة للطاقة والفوسفور ولكنها منخفضة في الكالسيوم. و الباقلاء بها القليل أو قد تخلو من الكاروتين أو فيتامين (ج) ولكنها قد تحتوي على كميات هائلة من الثيامين، النياسين والرايبوفلافين.

يوجد عدد كبير من أصناف الباقلاء الحقلية والتي تقع في نوعين، الشتوية والربيعية. و تتفوق الأنواع الشتوية على الأنواع الربيعية، حيث كانت مستويات الإنتاج في المملكة المتحدة حوالي 3.4 و 3.0 طن/هكتار على التوالي. و عادة ما يكون محتوى البروتين في الأصناف الربيعية أعلى مما في الأصناف الشتوية، حوالي 270 جم مقارنة مع 230 جم/كجم مادة جافة، ومحتوى ألياف أقل، حوالي 69 مقارنة مع 78 جم/كجم مادة جافة. و تعتبر هذه القيم أعلى مما في الحبوب الشائعة، باستثناء الشوفان. إنّ تركيز مستخلص الأيثير في كل من الباقلاء الشتوية والربيعية منخفض حوالي 13 جم/كجم مادة جافة، ولكن به نسبة عالية من أحماض اللينوليك واللينولينك (linoleic and linolenic). المكونات المعدنية في الباقلاء مشابهة لما في الحبوب وبقايا البذور الزيتية، مع تركيزات عالية من الفوسفور ومنخفضة من الكالسيوم. و تحتوي على القليل أو قد تخلو م الصوديوم أو الكلورين وهي مصادر فقيرة في المنجنيز.

تعتبر الباقلاء بالدرجة الأولى مصادر بروتينية ذات نوعية جيدة نسبياً. هذا انعكاس لمكونات الأحماض الأمينية التي تميزت بمحتوى مرتفع من اللايسين مشابه لبروتين مسحوق السمك؛ مستويات السيستين والميثيونين أقل من البروتينات الحيوانية والنباتية الشائعة.

بالإضافة إلى أنها مصدر جيد للبروتين، و تشكل الباقلاء مساهمة هامة في اقتصاد طاقة الحيوان، بما فيها من محتوى طاقة أيضية نحو 13.5 ميجا جول/كجم مادة جافة بالنسبة للمجترات، 12.0 ميجا جول/كجم مادة جافة للدواجن و 13.3 ميجا جول/كجم مادة جافة للخنازير.

وتستخدم الباقلاء في أغذية جميع الأنواع الرئيسية من حيوانات المزرعة. و تكون المستويات عادة في أغذية العجول عند عمر ثلاثة أشهر مقدرة بنحو 150 كجم/طن ولكنها تزداد كثيراً فيما بعد. استخدمت المخاليط المحتوية على 250 كجم/طن بشكل مناسب إلى حد ما في التغذية المكثفة للعجول المخصية. و عادة ما تُكسّر الباقلاء أو تجرش عند التغذية ولكن يبدو أن الباقلاء الكاملة مناسبة نوعاً ما بالنسبة للمجترات المتقدمة في السن، والتي تتأقلم سريعاً على مضغها. و قد تحتوي مركزات أبقار اللبن على 150 – 200 كجم باقلاء /طن وأوضح البحث الحديث أن مستويات تصل إلى 350 كجم/طن يمكن استخدامها بدون نقص في الإنتاج.

و بالنسبة للخنازير، عادة تطحن الباقلاء لتمر خلال منخل قطر فتحاته 3 ملم، وتستخدم لإناث الخنازير، وفي أغذية التسمين و الفطام؛ من غير المألوف إدخالها في التغذية الاختيارية (creep feeding). بالرغم من عدم وجود دليل موضوعي يدعمه، إلا أن الفكرة المنتشرة هي أن الباقلاء حديثة الحصاد تترك لتنضج وذلك لعدة أسابيع قبل تقديمها للخنازير. المعدل المعتاد لإدخال الباقلاء هو 50–150 كجم/طن ويجب ألا تتجاوز 200 كجم/طن. السيستين والميثايونين مهمة في أغذية الدواجن نظراً لمتطلبات نمو الريش ومن

المتوقع أن الباقلاء تكون محدودة القيمة. استخدمت الباقلاء في التغذية التقليدية بشكل قليل في أغذية الدواجن ولكن الدليل الحالي يشير إلى أن الباقلاء الحقلية يمكن استخدامها لإحلال كسب فول الصويا طالما استخدمت إضافات كافية من الميثايونين.

و يظهر أن أنواعاً عدة من الباقلاء، تشمل الباقلاء الحقلية تحتوي على عوامل مضادة لإنزيم التربيسين (antitrypic factors). و أثناء زراعتها في المملكة المتحدة فإن الأخيرة لم يظهر عليها أي تأثر جوهري على الأداء.

البازلاء Peas

تنتمي البازلاء المزروعة في المملكة المتحدة كمصدر بروتين للحيوانات (*Pisum sativum*) إلى (Vicieae). أنواع أخرى، مثل الحمص (*Cicer arietinum*) في الهند، و تعتبر مهمة محلياً. البازلاء أساسية بدرجة تشابه الباقلاء ولكن محتوياتها أقل فيما يتعلق بالبروتين الخام (260 جم/كجم مادة جافة) والألياف الخام (< 60 جم/كجم). محتوي الزيت بها اعلي قليلا مما في الباقلاء ولكن درجة التشبع متشابهة. و كما هو الحال في الباقلاء، فإن البازلاء تعتبر مصدراً بروتينياً بالدرجة الأولي وبها توازن أفضل في الأحماض الأمينية، ومحتويات أعلى فيما يتعلق باللايسين، الميثايونين والسيستين. و من ناحية ثانية، يضل الميثايونين هو الحمض الرئيسي الحدي الأول. و تساهم البازلاء مساهمة جوهرية في المأكول من الطاقة من قبل الحيوان، ومحتوى الطاقة الأيضية بها نحو13.4 ميجا جول/كجم مادة جافة بالنسبة للمجترات، 12.7 ميجا جول / كجم للدواجن ومحتوى الطاقة المهضومة 15.0 ميجا جول/كجم مادة جافة بالنسبة للخنازير.

و قد يصل أقصى معدل لإدخال البازلاء في أغذية المجترات إلى 400 كجم/طن، إلا أن مشاكل الخلط والتكعيب تحدد إدخالها في الأغذية المحببة (Pelleted foods) بنحو 200 كجم/طن كحد أقصى. و تعتبر مفيدة وخصوصاً في قدرتها على أن تحل محل كسب فول الصويا في أغذية الدواجن والخنازير، في حين أن الباقلاء تكون مقصورة وبشكل كبير على أغذية المجترات. و قد انعكست زيادة الاهتمام الكبير بالبازلاء على زيادة الإنتاج في المملكة المتحدة من 170000 طن في عام 1983 إلى 290000 طن في عام 1992، و تعادل هذه الزيادة حوالي 70 %. ازداد إنتاج الباقلاء في نفس الفترة من 105000 إلى 500000 طن، وهي زيادة تعادل حوالي 475 %. و تشكل البازلاء والباقلاء في الوقت الحاضر حوالي 3.5 % من مجموع المواد العلفية المستخدمة في الأغذية المركبة في المملكة المتحدة.

كسب بذرة الترمس Lupin seed meal

يحضّر كسب بذرة الترمس عن طريق البذور الكاملة، وهو مصدر مفيد للبروتين الذي يزرع في أوروبا. و توجد ثلاثة أنواع من الترمس يتم التمييز بينها عن طريق لون الأزهار، فهي في *Lupinus albus* بيضاء وفي *L. angustifalius* زرقاء أما في *L. luteus* فهي صفراء. في داخل النوع توجد هناك أصناف حلوه وأخرى لاذعة، و تحتوي الأخيرة على 10 إلى 20 % من أشباه القلويات السامة مثل Lupinin و angustifolin ويجب ألا تغذى للحيوانات: قد تحتوي الأصناف الحلوة أيضاً مستويات منخفضة من أشباه القلويات، وكنوع من الأمان، يجب أن يكون محتوى شبه القلوي أقل من 0.6 جم/كجم.

قشرة البذرة ليفية وإدخالها في الكسب يؤثر بشدة في معامل هضمها، خاصة فيما يتعلق بالحيوانات الصغيرة غير المجترة. الأصناف البيضاء بها اقل محتويات ألياف اقل ومحتويات الزيت والبروتين أعلى والأكساب المعدة منها تكون مفيدة أكثر بالنسبة للخنازير والدواجن مقارنة بالأصناف الزرقاء والصفراء. الكسب القياسي به محتوى الطاقة الأيضية نحو 11.5 ميجا جول/كجم ماد جافة بالنسبة للدواجن و 13.2 ميجا جول/كجم مادة جافة للمجترات، ومحتوى الطاقة المهضومة بالنسبة للخنازير 17.3 ميجا جول/كجم مادة جافة. نمط الأحماض الأمينية غير متوازن تماماً و قد تحتاج الأغذية التي تحتوي على كميات كبيرة من هذا الكسب إلى تكملتها بالميثايونين، والذي يعتبر الحمض الأميني الحدي الأول.

و تكون أقصى مستويات الإدخال 150 كجم/طن بالنسبة لأغذية المجترات، 100 كجم/طن للدواجن والخنازير البالغة، 50 كجم/طن للخنازير النامية ودجاج اللحم. بسبب الأكسدة السريعة للزيت، و يجب أن يستخدم الكسب مباشرة أو يدمج معه مضاد أكسدة.

مركزات البروتين الحيواني **Animal protein concentrates**

تعطى هذه المواد للحيوانات بكميات أقل كثيراً من الأغذية التي تمت مناقشتها الآن، لأنها لا تستخدم كمصادر بروتين بذاتها ولكنها تعطى لتصحيح النقص في أحماض أمينية ضرورية (إجبارية) معينة التي قد تعاني منها غير المجترات عندما تغذى على أغذية تتكون كلياً من بروتين نباتي. بالإضافة إلى ذلك فإن لها مساهمة جوهرية في تغذية الحيوان بالمعادن، وتوفر أيضاً فيتامينات مختلفة من مجموعة B المركب. و ثمة سبب إضافي يبرر تحديد

الكميات التي تعطى من هذه المنتجات لحيوانات المزرعة لأنها مكلفة، وهذا ما يجعل من استخدامها على نطاق واسع غير اقتصادي. و كان مجمل استخدام هذه المواد في صناعة الأغذية المركبة في المملكة المتحدة في عام 1992 هو 409000، و لعل هذا منخفض بنحو 5.2 % مقارنة بعام 1990. و كان أكثر من نصف هذه الكميات مسحوق اللحم والعظام والباقي مسحوق السمك مع مساهمة قليلة من مصادر أخرى مثل مسحوق الدم ومسحوق الريش.

إنّ إنتاج أغذية البروتين الحيواني في المملكة المتحدة منظم عن طريق " قانون البروتين الحيواني المعامل 1989 " The Processed Animal Protein 1989. و ينص هذا القانون على أن المنتجين يجب عليهم أن يسجلوا ويعلنوا عن إجراءات أخذ العينات واختيار الأغذية فيما يتعلق ببكتيريا السالمونيلا "*Salmonella*". يجب أن تؤخذ العينات كل يوم تغادر فيه البضاعة المباني وتسلّم فيه للإختبار. عندما تدمج الأغذية المنتجة في المباني في مواد علف الماشية أو الدواجن الموجودة في تلك المباني ذلك الحين، ففي كل يوم قبل توفيره مباشرة لأي بروتين حيواني مجهز لإدخاله في تلك الماد العلفية، يجب أن تؤخذ عينة ويتم تسليمها للاختيار. و تعلن كذلك على إجراءات نتيجة احتبار العينة المسقطة.

إن لائحة مرض جنون البقر (رقم 2) لعام 1989

"The Bovine Spongiform Encephalapathy " تحظر البيع، لغرض تغذية الحيوانات البقرية، لأية مواد علفية من التي أدخل فيها بروتين بقري المنشأ. كذلك تحرّم تغذية تلك المادة للحيوانات البقرية.

إن تغذية البروتين المشتق من الخنزير للحيوانات البقرية غير محظور قانوناً ولكن، بالرغم من أن خطر انتقال مرض الجنون قليل، ولكن الأحسن ألا تغذى هذه المنتجات في هذه المرحلة.

مسحوق اللحم والعظام Meat and bone meal

يعرّف مسحوق اللحم والعظام في المملكة المتحدة، بأنه "... المنتج المتحصل عليه عن طريق تسخين، تجفيف وطحن كل أو أجزاء من حيوانات من ذوات الدم الحار البرية والتي قد تم استخلاص الدهن منها جزئياً أو تم إزالته فيزيائياً. و يجب أن يكون المنتج خالياً فعلياً من الأظلاف، القرون، شعر جلد الخنزير، الشعر والريش، بالإضافة إلى محتويات القناة الهضمية " (مواد العلف) (Feeding stuff (Amm) Regulation 1993).

و يعرّف مسحوق اللحم قانوناً بأنه "... المنتج المتحصل عليه عن طريق تجفيف وطحن كل أو أجزاء من حيوانات من ذوات الدم الحار البرية والتي قد تم استخلاص الدهن جزئياً أو تم إزالته فيزيائياً يجب أن يكون المنتج خالياً فعلياً من الأظلاف، القرون، شعر جلد الخنزير، الشعر والريش بالإضافة إلى محتويات القناة الهضمية. (الحد الأدنى لمحتوى البروتين 50 % على أساس المادة الجافة)" (Feeding stuff (Amm) Regulation 1993).

المساحيق (meals) ربما يتم إنتاجها بواسطة الاستخلاص الجاف، عندما تسخن المادة في أوعية طبخ بخارية مغلفة بمواد غير موصلة ويفصل الدهن من المنتج المجفف ويترك هذا الدهن لكي يرتشح خارجه drain away. يزال دهن أكثر تحت الضغط ويطحن المتبقي لإعطاء المنتج النهائي. تسخن المادة أثناء عملية الاستخلاص الرطب عن طريق

البخار الحي بعد إضافة الماء إليه. ينزع الدهن ويفرز منه Skimmed off، ويترك المتبقي ليستقر ويرشح الرائق. يعرف هذا بالمادة الدبقة Stick، ويحتوي على كمية كبيرة من البروتين. يعصر المتبقي لإزالة الدهن، يجفف ويطحن. يحتوي مسحوق اللحم عامة من 660 إلى 700 جم/كجم مقارنة بحوالي 450 إلى 550 جم/كجم بالنسبة لمسحوق اللحم والعظام. و محتوى الدهن متباين ويتراوح من 30 إلى 130 جم/كجم، ولكنه عادة حوالي 90 جم/كجم. يحتوي مسحوق اللحم والعظام على رماد أكثر من مسحوق اللحم وهو مصدر ممتاز للكالسيوم، الفوسفور و المنجنيز. و كلاهما (مسحوق اللحم ومسحوق اللحم والعظام) مصدر جيد لفيتامينات مجموعة B المركب، خاصة الرايبوفلافين، الكولين، نيكوتين أميد وفيتامين B_{12}.

بروتين المنتجات الثانوية للحم ذو نوعية جيدة (القيمة البيولوجية تقريباً 0.67 للإنسان البالغ وهو مفيد خصوصاً كإضافة من اللايسين. لسوء الحظ فهو مصدر فقير للميثايونين والتريبتوفان، ويعتقد بأن هناك عوامل مفيدة غير معروفة موجودة في مسحوق اللحم، من بينها عامل نمو معوي (enteric growth factor) من القناة المعوية للخنزير، عامل اكرمان (Ackerman factor) وعامل النمو الموجود في الرماد.

إنّ منتجات اللحم مفيدة للحيوانات ذوات المعدة البسيطة أكثر من فائدتها للمجترات نظراً لأن الأخيرة لا تحتاج إلى مصدر غذائي من البروتين عالي الجودة. إن مستويات الميثايونين والتريبتوفان المنخفضة في هذه الأنواع من المساحيق تخفّض قيمتها وذلك لعدم قدرتها الكافية على تصحيح النقص في الأحماض الأمينية في أغذية الخنازير والدواجن

والمرتفعة في الحبوب. و سيكون هذا واضحاً وخصوصاً عندما تعطي نسب عالية من الذرة، وتكون الذرة منخفضة في التريبتوفان بشكل خاص. و يعطى مسحوق اللحم عادةً مقترناً مع بروتين حيواني أو نباتي آخر لتكملة محتواه المنخفض من الميثايونين والتريبتوفان. و يؤكل كل من مسحوق اللحم ومسحوق اللحم والعظام حالاً من قبل الخنازير والدواجن وربما تعطي بمستويات تصل إلى 150 كجم / طن من الغذاء بالنسبة للدجاج البياض وصغار الخنازير؛ فيما يتعلق بخنازير التسمين عادة يبقى المستوى أقل من 100 كجم / طن. بالإضافة إلى أنه أقل فائدة بالنسبة للمجترات مما هو للحيوانات وحيدة المعدة، فإن هذه المنتجات ليست مقبولة بسهولة من قبل المجترات ويجب إدخالها إلى أغذيتها تدريجياً. و يلزم اهتمام كبير عند تخزين منتجات اللحم للحد من تطور حدوث التزنخ وفقد فعالية الفيتامين.

في الماضي، ينتج هذا المسحوق تحت ظروف كثيراً ما تكون غير مناسبة، ما لم تراعى العناية لضمان التعقيم النهائي عن طريق التسخين إلى 100 °م ولساعة واحدة، فإن استعمالها يعتبر أحياناً خطراً صحياً. إن ظروف التجهيز الحديثة وما تقتضيه لائحة تجهيز البروتين أدت إلى ضمان أن المسحوق يكون خالياً من الكائنات الممرضة (Pathogens) وان يسمح باستخدامها بكميات كبيرة وفي نطاق واسع من الأغذية المختلفة.

مسحوق السمك Fish meal

ينتج مسحوق السمك عن طريق طبخ السمك، ثم عصر الكتلة المطبوخة لإزالة معظم الزيت والماء. يتم تركيز السائل المائي ويضاف إلى الكتلة المكبوسة ويجفف كامل المنتج. و تتكون حوالي 90 % من المادة الخام المستخدمة في إنتاج مسحوق السمك من

أنواع زيتية مثل البلم (anchovies)، الكبلين (Capelin) والمنهادن (menhaden)، و تتكون الـ 10 % الباقية من سمك (زائد بعض المخلفات) من أنواع مثل الحدوق (haddock) والحوت (Cod).

و من الناحية الغذائية، فإن عملية التجفيف مهمة جداً نظراً لأن زيادة التجفيف تخفض جودة المنتج بدرجة معنوية. و هناك نوعان رئيسيان من المجففات، مباشر وغير مباشر. في النوع الأول (المباشر)، يمرر هواء ساخن (نحو حوالي 500 ºم) على المادة بمجرد تدفقها في البرميل الأسطواني، يجب أن تبقى درجة حرارة المادة بين 80 و 95 ºم ولكنها قد تكون أعلى بكثير في حالة عدم التحكم في المعاملة بدقة، في الطريقة غير المباشرة تكون المجففات عبارة عن اسطوانات بخارية مغلفة بمواد غير موصلة أو أسطوانات محتويه على أقراص (discs) والتي تقلب المادة بشكل متكرر أثناء التجفيف. و العملية الأخيرة بطيئة ولكنها مضبوطة بسهولة أكثر ويطحن المنتج المجفف وبالتالي فإن أقل من 10 % يمر خلال منخل قطر فتحاته 1 مم وأكثر من 90 % يمر خلال منخل 10 مم.

و يكون معامل هضم البروتين بالمسحوق المنتج بشكل جيد بين 0.93 و 0.95 ولكن المسحوق المسخن بشدة أثناء التجهيز قد تكون قيمته منخفضة وتصل إلى 0.60. جودة بروتين مسحوق السمك عالية بالرغم من تباينها كما ظهر بالقيم 0.36 و 0.82 المقتبسة كقيم بيولوجية بالنسبة للجرذان. ظروف التجهيز، خصوصاً درجة وطول زمن التسخين، على الأرجح أنها المحدد الرئيسي لجودة البروتين، كما هو مبين بالأرقام المتعلقة باللايسين المتيسر الواردة في جدول 4.23.

جدول 4.23 تأثير المعاملات الحرارية المختلفة على محتويات اللايسين المتيسر في مسحوق السمك

المعاملة	اللايسين المتيسر (جم/كجم بروتين خام)
مجفف بالتجميد	86
مجفف بالفرن عند:	
105 ^{o}م ولمدة 6 ساعات	83
170 ^{o}م ولمدة 6 ساعات	69

إن القيم 0.58 في حالة r = 0.02 و 0.44 ، عندما r = 0.05 و 0.38 في حالة r = 0.08 (r = معدَّل المرور من الكرش) اقتبست لمدى تحلل بروتين مسحوق السمك في الكرش وهو متفوق مقدماً (pre-eminent) كمصدر للبروتين غير المتحلل بالنسبة للحيوانات المجترة.

وتختلف محتويات البروتين في مساحيق السمك المختلفة بمدى حوالي 500 إلى 750 جم/كجم إلا أن مكونات البروتين ثابتة نسبياً. كما انه غني بالأحماض الأمينية الأساسية، خصوصاً اللايسين، السيستين، الميثايونين والتريبتوفان،وهو مكمل مفيد للأغذية المبنية على الحبوب، خصوصاً تلك التي تحتوي على مقدار كبير من الذرة. مساحيق السمك بها محتوى معدني مرتفع (100 إلى 220 جم/كجم) وهذا مفيد غذائياً نظراً لأنه يحتوي على نسبة عالية من الكالسيوم والفوسفور وعدد من المعادن الصغرى المرغوبة التي تشمل المنجنيز، الحديد، اليود. هذه المساحيق مصادر جيدة لفيتامينات مجموعة B المركب، خصوصاً

الكولين، B_{12} والرايبوفلافين (B_2)، ولقد ازدادت قيمتها الغذائية بسبب محتواها من عوامل النمو المعروفة بشكل جماعي بعامل البروتين الحيواني

Animal Protein factor(APF). و لعل الطاقة في مساحيق السمك موجودة كلياً في شكل دهن وبروتين وهي بدرجة رئيسية في مساحيق انعكاس لمحتوى الزيت. و قدرت قيمة الطاقة في الماضي بالنسبة للحيوانات تحت المستوى الفعلي (underestimated)، خصوصاً في حالة المجترات حيث متوسط القيم في حدود 14 ميجا جول /كجم من الطاقة الأيضية هي الآن مقبولة كقيم واقعية.

و يمكن تجميع أصناف كثيرة متوفرة من مساحيق السمك معتمدة على بلد المنشأ، المادة الخام وعملية التجهيز المستخدمة. بالمناسبة، المساحيق المتوفرة حالياً في المملكة المتحدة إلى:

1- مساحيق سمك أمريكا الجنوبية (South American fish meal)

2- مساحيق سمك نوع الرنكه (Herring-type fish meal)

3- مساحيق منتجه في المملكة المتحدة (UK-Produced meal)

القيم النموذجية للمكونات والقيمة الغذائية معطاة في جدول 5.23.

الاتجاه الحالي في تسويق مساحيق السمك من أجل منتجات متخصصة مصنعة لتلاءم أنواع معينة من الماشية. لذلك يتم إنتاج مساحيق بدرجة حرارة منخفضة بشكل معين للزراعة المائية وللخنازير المفطومة مبكراً، ودرجة منتجات المجترات لها مستويات مضبوطة تماماً من النيتروجين الذائب.

و تجد مساحيق السمك أكثر استخدام لها في الحيوانات ذات المعدة البسيطة. و تستخدم غالباً في أغذية الحيوانات الصغيرة والتي يكون طلبها على البروتين والأحماض الأمينية الإجبارية مرتفعاً بشكل خاص والتي يكون فيها التأثير المحفز من قبل عامل البروتين الحيواني ذا قيمة واضحة.

جدول 5.23 التركيب والقيمة الغذائية لبعض من مساحيق السمك النموذجية

	الرنكه	الأمريكي الجنوبي	إنتاج المملكة المتحدة
البروتين الخام (جم/كجم)	730	660	640
الدهن (جم/كجم)	70	60	65
الكالسيوم (جم/كجم)	20	45	80
الفوسفور (جم/كجم)	15	30	50
الطاقة الأيضية (ميجا جول/كجم مادة جافة)			
المجترات	17.8	14.6	14.6
الدواجن	14.9	13.9	13.4
الطاقة المهضومة (ميجا جول/كجم مادة جافة)			
الخنازير	19.6	19.0	17.0

قد تشتمل مثل تلك الأغذية على حوالي 150 كجم/طن من مسحوق السمك. و فيما يتصل بالحيوانات الكبيرة، والتي تحتاج إلى بروتين أقل، فإن مستوى مسحوق السمك يخفض إلى حوالي 50 كجم/طن وربما يحذف كلياً من أغذية المراحل الأخيرة من التسمين. و يكون هذا جزئياً لأسباب اقتصادية نظراً لان احتياجات البروتين لتلك الحيوانات تكون قليلة، وجزئياً لإزالة احتمال التلوث بالرائحة السمكية في الذبيحة النهائية. و هذه الاحتمالية يجب أخذها في الاعتبار بعناية في ما يتصل بالحيوانات المنتجة للبن والمنتجة

للبيض، والتي تكون معرضة لحدوث الفساد. الحيوانات المجترة تماماً قادرة على أن تتحصل على الأحماض الأمينية وفيتامينات مجموعة B المركب (B-complex) عن طريق التخليق الميكروبي و يعني هذا أن أهمية مسحوق السمك لتلك الحيوانات عبارة عن مصدر بروتين غير متحلل (undegradable protein). إن لهذا أهمية خاصة للحيوانات النامية النشطة والحيوانات الحوامل، وعادة ما تكون معّدلات إدخاله في الأغذية حوالي 50 كجم/طن. بالنسبة لأبقار اللبن يجب أن يحدد المأكول اليومي بما لا يتعدى 1 كجم، وأعلى من هذا قد يتجاوز المأكل من الدهن 100 جم/يوم ويسبب تأثيرات ضارة على التخمر في الكرش.

يعرّف مسحوق السمك قانوناً في المملكة المتحدة، بأنه، المنتج المتحصل عليه عن طريق معاملة جميع أو أجزاء من السمك والذي قد أزيل منه جزء من الزيت وقد تضاف إلية ذوائب السمكة مرة أخرى. ذوائب السمك (Fish Solubles) "منتج مثبت يتكون من عصير مكبوس تم الحصول عليه أثناء تصنيع مسحوق السمك بعد إزالة معظم زيت السمك وبعض من الماء (feeding stuffs (Amm)Regulations 1993). محتوى النيترايت nitrite في مسحوق السمك المباع في المملكة المتحدة مضبوط تماماً وفقاً للتشريعات. قد لا يكون أكثر من 60 ملجم/كجم من الغذاء استناداً إلى محتوى رطوبة 12 % ومنصوص عليه نيترايت الصوديوم (Sodium nitrite)، وهذا يكافئ 14 ملجم نيتروجين نيترايت /كجم مادة جافة.

مسحوق الدم **Blood meal**

يعرّف مسحوق الدم في المملكة المتحدة بأنه، المنتج المتحصل عليه عن طريق تجفيف الدم من حيوانات ذوات الدم الحار المذبوحة. يجب أن يخلو المنتج فعلياً من المادة الغريبة، (Feeding Stuffs (Amm) Regulations 1993).

يصنع المسحوق عن طريق مرور بخار حي خلال الدم حتى تصل درجة الحرارة إلى 100 ^{o}م. إن هذا يضمن تعقيماً كافياً ويعمل على تخثر الدم، بعد ذلك يصفّي ويكبس ويعصر الشرش المحتجز، يجفف بالبخار المسخن ثم يطحن.

مسحوق الدم مسحوق شوكولاتي اللون وبرائحة مميزة، يحتوي حوالي 800 جم بروتين /كجم ، كميات قليلة من الرماد والدهن وحوالي 100 جرام ماء/كجم ، وهو مهم غذائياً كمصدر بروتين فقط. مسحوق الدم من أحد أغنى مصادر اللايسين وهو مصدر غني بالارجينين، الميثايونين، سيستين والليوسين ولكن به نقص في الايزوليوسين ويحتوي جلايسين أقل من أي من مساحيق السمك، اللحم أو اللحم العظام. بسبب التوازن المنخفض للأحماض الأمينية فإن قيمته البيولوجية منخفضة إضافة إلى أن قيمته الهضمية المنخفضة، فإن له ميزة في حالات معينة في أن بروتينه له تحلل منخفض جداً في الكرش (حوالي 0.20).

و المسحوق غير لذيذ المذاق (unpalatable) و استعماله يؤدي إلى انخفاض معدلات النمو في الدواجن لذلك لا ينصح به للقطيع الصغير (النامي). بالنسبة للطيور الكبيرة، تحدد معدلات إدخاله بحوالي 10 إلى 20 كجم/طن من الغذاء. و يجب ألا يدخل

في الأغذية التي تطرح Creep للخنازير. المستويات الطبيعية لإدخاله بالنسبة للحيوانات الكبيرة في مدى 50 كجم/طن من الغذاء ويستخدم عادة مع مصادر بروتين عالية الجودة. و يميل عند مستويات أعلى من 100 كجم/طن من الغذاء إلى إحداث الإسهال ويفضل اعتباره كغذاء لتقوية مستويات اللايسين الغذائي.

مسحوق الريش المتحلل مائياً Hydrolysed feather meal

عرفت لوائح مواد العلف (The feeding stuffs (Amm) Regulations 1993) هذه المادة بأنها:

"المنتج المتحصل عليه بواسطة التحلل المائي، التخفيف والطحن لريش الدواجن". المسحوق يتم إنتاجه عن طريق الطبخ بالبخار تحت ضغط حوالي 2.8 إلى 3.55 كجم/سم^2 لمدة 30 إلى 45 دقيقة، عندما تبلغ درجات الحرارة 140 إلى 150 °م.

مسحوق الريش به محتوى عال من البروتين، نموذجياً حوالي 850 جم/كجم، فيما يتصل بالعينات الفردية فهي تختلف من 610 إلى 930 جم/كجم. يشترك الهستدين واللايسين في أنها هي الأحماض الأمينية الحدية الأولى مع الميثايونين باعتباره الحمض المهم الثالث. معامل الهضم في اللفائفي و تقدر بنحو 0.5 بالرغم من أن معامل هضم الأحماض الأمينية على انفراد يتراوح من 0.20 إلى 0.70. و هناك دليل على أن معامل هضم البروتين قد يتحسن إذا تمت المعاملة بضغط أعلى وزمن أقصر. في الوضع النموذجي، قيمة الطاقة المهضومة بهذا المسحوق بالنسبة للخنازير 12.6 ميجا جول/كجم مادة جافة وقيم الطاقة

الأيضية حوالي 13.7، 12.5 و 13.6 ميجا جول/كجم مادة جافة بالنسبة للدواجن، الأبقار والأغنام على التوالي. إن الاختلافات في ظروف التجهيز ربما يكون لها تأثير واضح على القيمة الغذائية. يعتبر المسحوق منخفض الاستساغة ويجب أن يتم إدخاله إلى الغذاء بشكل تدريجي. و معدّلات إدخاله منخفضة بشكل عام، وتقدر في حدود 25 إلى 30 كجم/طن من مجموع العليقة بالنسبة للمجترات الناضجة،25 كجم/طن للدجاج البياض، دجاج اللحم والرومي، و 10 كجم/طن للعجول، الحملان، إناث الخنازير النامية وفي خنازير التسمين. لا يستخدم المسحوق للخنازير المفطومة أو الأغذية (Creep feeding) التي تطرح للخنازير الصغيرة أو الكتاكيت.

و هناك خطر من تلوث المادة الأساسية بالسالمونيلا (*Salmonella*) ويكون من المهم جداً التدقيق في ظروف التجهيز والمحافظة على ذلك لكي تقلل من خطر هذا التلوث في المنتج النهائي.

منتجات اللبن Milk products

اللبن الكامل (Whole milk)

يحتوي اللبن الكامل من الأبقار حوالي 875 جم/كجم ماء و 125 جم/كجم مادة جافة، و غالباً ما يشار إليها بالجوامد الكلية، منها حوالي 37.5 جم/كجم دهن، و يطلق على الباقي جوامد غير دهنية (solids-not-fat)، و تتكون من بروتين (33 جم/كجم)، لاكتوز (47 جم/كجم) ورماد (7.5 جم/كجم). و يتكون معظم الدهن من جلسريدات ثلاثية متعادلة، وتتميز بان لها نسباً عالية من الأحماض الدهنية منخفضة الوزن الجزيئي وتوفر

مصدراً ممتازاً من الطاقة. قيمة الطاقة في هذا الدهن حوالي 2.25 ضعف الطاقة في سكر اللبن أو اللاكتوز. جزء البروتين الخام في اللبن معقد، حوالي 5 % من النيتروجين هو من غير البروتين. ويحتوي الكازين، البروتين الرئيسي في اللبن، حوالي 78 % من النيتروجين الكلي وهو ذو جودة ممتازة، ولكن يفسده (marred) النقص الطفيف في الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت، السيستين والميثايونين. ومن حسن الحظ فإن بروتين (β-lactoglobulin) غني بهذه الأحماض ولذلك فإن بروتينات اللبن المجتمعة لها قيمة بيولوجية حوالي 0.85. ومعظم الاستخدام الاقتصادي للبروتين هو تكملة البروتينات فقيرة النوعية مثل بروتينات الحبوب، فإنه يكون لذلك الغرض أفضل من أي من منتجات اللحم أو السمك. عندما تستخدم منتجات اللبن لاستبدال مسحوق السمك أو مسحوق اللحم والعظام فإن الأغذية يجب تكملتها بالعناصر غير المعدنية، خاصةً الكالسيوم والفوسفور، نظراً لأن محتوى الرماد في اللبن قليل. وباللبن محتوى منخفض من الماغنسيوم وبه نقص حاد في الحديد. و غالباً فاللبن مصدر جيد لفيتامين A ولكنه فقير فيما يتعلق بفيتامين E و D. اللبن الكامل مصدر جيد للثيامين والرايبوفلافين ويحتوي على كميات قليلة من فيتامين B_{12}. يعطى اللبن الكامل للعجول الرضيعة، الحملان، حيوانات اللبن الصغيرة والعجول الذكور وللحيوانات المعدة للتنافس والتحكيم. و هناك اثنان من المنتجات الثانوية للّبن والمستخدمة بشكل واسع وهي أغذية مفيدة لحيوانات المزرعة.

اللبن الفرز (اللبن المقشود) Skim milk

وهو المتبقي بعد فصل القشدة من اللبن عن طريق قوة الطرد المركزي. و محتوى الدهن به منخفض جداً، أقل من 10 جم/كجم، و تنخفض الطاقة الكلية بشكل كبير، حوالي 1.5 ميجا جول/كجم مقارنةً مع 3.1 ميجا جول/كجم في حالة اللّبن الكامل. إن نزع الدهن في القشدة يعني كذلك أن اللبن الفرز مصدر فقير من الفيتامينات الذائبة في الدهن، ولكن يسبب تركيز في مكونات الجوامد غير الدهنية. يلقى اللبن الفرز استخدامه الرئيسي كمكمل بروتين في أغذية الحيوانات ذوات المعدة البسيطة ونادراً ما يستخدم للحيوانات المجترة؛ وهو فعال بشكل خاص في تصحيح النقص في الأحماض الأمينية في الأغذية الغنية بالحبوب المستعملة للخنازير والدواجن. و يعطي عادة للخنازير في حالة سائلة ويحدد للاستهلاك الفردي "*Per capita*" من 2.8 لترات (3.0 كجم) إلى 3.4 لترات (3.6 كجم) لكل يوم. عندما يكون السعر مناسباً، ربما يقدم لحد الشبع (*ad libitum*)، وبمستوى 23 لتراً (24 كجم) لكل خنزير يومياً قد يستهلك مع 1 كجم من الوجبة. و قد يحدث الإسهال عند هذه المستويات ولكن يمكن تجنبه بحسن العناية والمتابعة. و يجب أن يعطى اللبن الفرز السائل دائماً في الحالة نفسها، إما طازجاً أو رائباً، لتجنب الاضطرابات الهضمية. و يمكن حفظه عن طريق إضافة 1.5 لتراً من الفورمالين (Formalin) إلى 1000 لتراً من اللبن الفرز. فيما يتعلق بالتغذية للدواجن، فعادةً ما يستخدم اللبن الفرز في صورة مسحوق وربما يمثل نحو 150 كجم/طن من الغذاء. هذا المنتج يحتوي حوالي 350 جم/كجم بروتين، حيث تختلف الجودة تبعاً لعملية التصنيع المستخدمة: يعرض اللبن الفرز المجفف بالاسطوانة إلى درجة حرارة تجفيف اعلي من المنتج المجفف بالرشّة (بالرشّاش

) وله معامل هضم وقيمة بيولوجية اقل (جدول 6.23). و بالنسبة للدواجن، يُعاب على اللبن الفرز انخفاض محتواه من السيستين.

شرش اللبن (مصاله اللبن) Whey

عند معاملة اللبن بالانفحة (مادة تجبن اللبن rennet) أثناء عمل الجبن، يترسب الكازين حاملاً معه معظم الدهن وحوالي نصف الكالسيوم والفوسفور. و يعرف الشرش المتبقي بشرش اللبن، وكنتيجة لتجزئه مكونات اللبن بواسطة تخثر الأنفحة، فإن هذا مصدر أفقر في الطاقة (1.1 ميجا جول/كجم)، الفيتامينات الذائبة في الدهن والفوسفور. من الناحية الكمية فيعتبر مصدراً بروتينياً أفقر من اللبن ولكن معظم البروتين يكون (β -lactoglobulin) وهو من نوعية جيدة جداً. و عادة ما يعطي شرش اللبن للخنازير لحد الشبع (*ad libitum*) في حالة سائلة. و تجد الاستعمال الرئيسي للبن الفرز المجفف وشرش اللبن في شكل مكونات لبدائل اللبن الخاصة بالعجول الصغيرة. بخلاف اللبن الفرز، فلا تخثر بروتينات الشرش في المعدة وربما تنشأ عنها مشاكل هضمية عند وجوده في الغذاء بمعدلات إدخال عالية.

جدول 6.23 تأثير المعاملة على القيمة الغذائية للّبن الفرز

	معامل هضم البروتين	القيمة البيولوجية للبروتين	اللايسين المتيسر (جم/كجم بروتين خام)
التجفيف بالرشاش	0.96	0.89	81
التجفيف بالاسطوانة	0.92	0.82	59

بروتين كائنات وحيدة الخلية Single-cell protein

هناك اهتمام كبير في السنوات الأخيرة باستثمار التخمر الميكروبي لأجل إنتاج البروتين. وتنمو الكائنات وحيدة الخلية مثل الخمائر والبكتيريا بشكل سريع جداً ويمكنها مضاعفة كتلة خلاياها، حتى على نطاق واسع في المخمرات الصناعية، وذلك في مدة ثلاث إلى أربع ساعات. هناك مدى واسع من مواد الأساس المغذية يمكن استخدامها وتشمل حبوب الغلال، بنجر السكر، قصب السكر ومنتجاته الثانوية، نواتج التحلل المائي للأخشاب والنباتات ومنتجات من مخلفات تصنيع الغذاء. و يمكن أن تُنمّى بكتيريا مثل *Pseudomonas sp.* على مواد غير تقليدية إضافية مثل الميثانول، الايثانول، alkanals، alkanes وأحماض العضوية. و توضح القيم الواردة في جدول 7.23 أن المواد المتحصل عليها عن طريق استنبات كائنات حية مختلفة تتباين بدرجة كبيرة في المكونات.

إنّ محتوى البروتين في البكتيريا أعلى مما في الخمائر ويحتوي تركيزات أعلى فيما يتعلق بالأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت ولكن تركيزات أقل في ما يتعلق باللايسين. عادة ما يحتوي بروتيناً وحيد الخلية على مستويات عالية من الأحماض النووية، تتراوح من 50 إلى 120 جم/كجم مادة جافة في الخمائر و 80 إلى 160 جم/كجم مادة جافة في البكتيريا. ويمكن استخدام بعض من قواعد البيورين (Purine) والبايريميدين (Pyrimidine) في هذه الأحماض في التخليق الحيوي للأحماض النووية. و هناك كميات كبيرة من حمض البوليك Uric acid أو allantoin، وهي النواتج النهائية من الأيض الهدمي للأحماض النووية، و تطرح هذه في بول الحيوانات المستهلكة للبروتين وحيد الخلية. و يتراوح محتوى الدهن في

الخمائر وفي البكتيريا من 25 إلى 236 جم/كجم مادة جافة والدهون نفسها غنية بالأحماض الدهينة غير المشبعة. بالرغم من أن بروتين وحيد الخلية (SCP) يحتوي على جزء من الألياف الخام، و يمكن أن يكون هذا مرتفعاً نوعا ما في بعض الخمائر، فهو لا يتكون من السيليولوز ، الهيميسيليولوز واللجنين كما في هو الحال في الأغذية نباتية المنشأ؛ إنه يتكون بشكل رئيسي من جلوكانز glucans، ومانّانز (mannans) وكيتين (chitin).

و قد نتج عن الدراسات عن الخنزير معاملات هضمية للطاقة تتراوح من 0.70 إلى 0.90 بالنسبة للخمائر المستنبته على شرش اللبن وعلى ن- بارافين (*n*-paraffins) على التوالي، و قد تم الحصول على قيمة حوالي 0.80 بالنسبة للبكتيريا المستنبتة على ميثانول. إن إدخال بروتين كائنات وحيدة الخلية (SCP) في أغذية الخنازير عند مستويات تصل إلى 150 كجم/طن أعطت مستويات من الأداء يمكن مقارنتها مع أغذية محتويه على كسب فول الصويا أو مسحوق السمك، وبالمثل فقد تم الحصول على نتائج مشجعة فيما يتصل بالعجول، على الرغم من أن أقصى مستوى لإدخال خمائر Akane والتي يوصى بها عادة في بدائل اللبن للعجول يجب أن تكون 80 كجم/طن. و لقد أثبت في حالة الدواجن أن التركيزات الغذائية لبروتين وحيد الخلية نحو 20 إلى 50 كجم/طن تكون مثالية بالنسبة لدجاج اللحم وأن 100 كجم/طن اقترحت لأغذية الدجاج البياض.

جدول 7.23 المكونات الكيميائية لبروتين كائنات وحيدة الخلية النامي على مواد أساس مختلفة

(جم/كجم مادة جافة)

(After Schulz E and Oslage H J 1976 *Animal Feed Science and Technology*, 1,9)

رماد	ألياف خام	دهن خام	بروتين خام	مادة عضوية	مادة جافة (جم/كجم)	الكائنات الحية الدقيقة	مواد الأساس المستخدمة
86	**44**	**25**	**678**	**914**	**916**	***Candida lipolytica***	**Gas oil**
84	**41**	**132**	**494**	**917**	**903**	***Candida lipolytica***	**Gas oil**
66	**47**	**92**	**644**	**934**	**932**	***Candida lipolytica***	**n-paraffin**
67	**47**	**236**	**480**	**933**	**914**	***Candida lipolytica***	**n-paraffin**
59	**76**	**122**	**501**	**941**	**971**	***Pichia guillerm***	**n-alkanes**
100	**50**	**56**	**640**	**900**	**900**	***Candida pseudotropicalis***	**Whey(lactic acid**
61	**107**	**77**	**388**	**939**	**938**	***Candida boidinii***	**methanol**
97	**5**	**79**	**819**	**903**	**967**	***Pseudomonas methylica***	**methanol**
75	**13**	**79**	**553**	**925**	**917**	***Candida utilis***	**Sulphite liguor**
68	**18**	**63**	**515**	**932**	**908**	***Saccharomyces cerevisiae***	**Molasses**
74	**11**	**31**	**458**	**926**	**899**	***Saccharomyces carsbergensis***	**Extract of malt**

المركبات النيتروجينية غير البروتينية كمصادر بروتينية

Non-protein nitrogen compounds as Protein Sources

تميزت المركبات النيتروجينية غير البروتينية كمصادر مفيدة للنيتروجين للحيوانات المجترة، ومركبات نيتروجينية بسيطة مثل أملاح الأمونيوم مع الأحماض العضوية يمكن استخدامها على نطاق محدود جداً بواسطة الخنازير والدواجن. و من الناحية التجارية، فإن المركبات النيتروجينية غير البروتينية مهمة للمجترات فقط. و يعتمد استخدامها على قدرة الكائنات الحية الدقيقة بالكرش لاستخدامها في تخليق أنسجة خلاياها (الفصل 8) وبالتالي فهي قادرة على توفير البروتين الميكروبي لتغطية احتياج الحيوان من النيتروجين على مستوى النسيج. المركبات المستثمرة تشمل اليوريا، أملاح الامونيوم مع الأحماض العضوية والأميدات (amides) المختلفة بالإضافة إلى thiourea ، hydrazine و biuret. فقد أظهرت الدراسات المعملية *in vitro* أن خلات الامونيوم (ammonium acetate)، سكسينيت الامونيوم (ammonium succinate)، (acetamide) و (diammonium phosphate) مواد أساس أفضل من اليوريا لأجل تخليق البروتين الميكروبي، ولكن عند اخذ السعر بعين الإعتبار، الملائمة، الإستساغه والسمية، فإن اليوريا هي أكثر مركب نيتروجيني غير بروتيني تم التحقق منه واستخدامه في أغذية حيوانات المزرعة.

اليوريا Urea

اليوريا مادة صلبة، بيضاء، بلورية مائعة يمكن توضيحها بالصيغة التالية:



محتوى النيتروجين باليوريا النقية 466 جم/كجم، والذي يكافئ محتوى بروتيناً خام 466×6.25 = 2913 جم/كجم. تحتوي " اليوريا الغذائية " ملطفاً خاملاً ليحافظ على انسيابها بحرية و يخفض هذا محتوى النيتروجين إلى 464 جم/كجم، يكافئ 2900 جم/كجم بروتين خام. تتحلل اليوريا مائياً بواسطة نشاط إنزيم (urease) الموجود بالكائنات الحية الدقيقة في الكرش وينتج عن ذلك الأمونيا.

$$\begin{matrix} NH_2 \\ | \\ C{:}O \\ | \\ NH_2 \end{matrix} \quad + \quad H_2O \longrightarrow 2NH_3 \quad + \quad CO_2$$

إن السهولة والسرعة التي يحدث بها التفاعل عندما تدخل اليوريا إلى الكرش ينشأ عنه مشكلتان رئيسيتان نظراً لزيادة امتصاص الأمونيا من الكرش. وهكذا قد يحدث فقد في النيتروجين وربما هناك خطر التسمم بالأمونيا. و يتميّز هذا بارتعاش عضلي، عدم القدرة

على تنسيق الحركات العضلية الإرادية (ataxia)، إفراط اللعاب، تكزز، نفاخ، خلل في التنفس (تم إثبات حدوث كل من التنفس السريع السطحي والبطيء العميق).

تختلف مستويات اليوريا في الغذاء في تأثيراتها وليس بالإمكان إعطاء حدود أمان دقيقة لأي حيوان مخصص. مثلاً أغنام أخذت كمية قليلة تصل إلى 8.5 جم في اليوم قد نفقت بينما أغنام أخرى استهلكت مقداراً وصل إلى 100 جم في اليوم بدون آثار مرضية. تظهر أعراض التسمم عندما يتجاوز مستوى الأمونيا في الدم السطحي 10 ملجم/كجم والمستويات المميتة حوالي 30 ملجم/كجم. و تكون تلك المستويات عادة مصحوبة بتركيزات في آمونيا الكرش حوالي 800 ملجم/كجم، ويعتمد المستوى الفعلي على درجة تركيز أيونات الهيدروجين (pH). الأمونيا، والتي تعتبر العامل السام الفعلي في التسمم باليوريا، تكون سامة إلى ابعد حد عندما يكون pH الكرش مرتفعاً بسبب زيادة نفاذية جدار الكرش للأمونيا غير المتأينة مقارنة بأيونات الامونيوم والتي تسود عندما يكون pH منخفضاً.

و يجب أن تعطى اليوريا بطريقة تضمن خفض معّدل تحللها وتشجع استغلال الأمونيا لتصنيع البروتين. و تكون فعّالة أكثر عندما تعطي في صورة مكمل لأغذية منخفضة في محتوى البروتين، خصوصاً عندما يكون البروتين مقاوماً للتحلل الميكروبي. ويجب أيضاً أن يحتوي الغذاء على مصدر طاقة متيسرة بسهولة وبالتالي يحفز تصنيع البروتين الميكروبي ويخفض الفقد. و في نفس الوقت، دخول الكربوهيدرات المتيسرة بسهولة إلى الكرش سوف يسبب هبوطاً سريعاً في pH الكرش وبذلك يخفض احتمالية التسمم. و قد تمت مواجهة عدة صعوبات فيما يتصل باليوريا يمكن تجنبها لو تم التقيد بكمية وحجم

الوجبات. للحد من خطر التسمم، يجب ألا يقدم أكثر من ثلث النيتروجين الغذائي في شكل يوريا، ويجب أن يكون هذا في شكل مأكول متكرر وقليل كلما كان ذلك ممكناً.

اليوريا، مثل المصادر الأخرى للنيتروجين غير البروتيني، سوف لا تستخدم بكفاءة من قبل الحيوان المجتر إلا إذا كان الغذاء لا يحتوي مقداراً كافياً من البروتين المتحلل لتغطية حاجات الكائنات الحية الدقيقة في كرش ذلك الحيوان.

بالرغم من أن اليوريا توفر مصدراً بروتينياً مقبولاً، فهناك دليل على انه عندما تشكل اليوريا جزءاً رئيسياً من النيتروجين الغذائي، ربما يحدث نقص في الأحماض الامينية المحتوية على الكبريت، ففي تلك الحالات يكون من الضروري دعم الغذاء بالكبريت. وعموماً، يعتبر تخصيص مقدار حوالي 0.13 جم من كبريتات الصوديوم اللا مائية/جم يوريا مثالياً. و لا توفر اليوريا الطاقة، المعادن أو الفيتامينات للحيوان وعندما تستخدم لإحلال مصادر البروتين المألوفة فيجب العناية لضمان مستويات غذائية مناسبة من هذه العناصر الغذائية والمحافظة عليها عن طريق مكملات كافية.

تتوفر اليوريا في أغذية ملائمة وذلك في أشكال عديدة. قد توجد مشمولة في قوالب صلبة والتي توفر مكملات فيتامين ومعادن وتحتوي مصدر طاقة متيسراً بسهولة، عادة النشا. تترك الحيوانات لتكون حرة الوصول إلى القوالب، فالمأكول يكون محدداً بأن القوالب سيتم لعقها وعن طريق محتوى الملح المرتفع. و هناك خطر من إفراط تناول اليوريا عندما تتفتت القوالب أو وجود مصدر ماء متيسر بسهولة وهذا ما يتيح للحيوان التغلب على تناول أملاح عالية. و تستعمل أيضا محاليل اليوريا المحتوية على المولاس (molasses)

كمصدر طاقة وتحمل كمية مختلفة من مكملات المعادن والفيتامينات. هذه المحاليل مثلها مثل القوالب فهي تحتوي على 50 إلى 60 جم يوريا وحوالي 250 جم سكر لكل كيلوجرام، وتجهّز في معالف (feeders) خاصة حيث يقوم الحيوان بلعق كرة طافية في المحلول.

و تحتوي العديد من الأغذية المركزة الملائمة على اليوريا بمستويات تتراوح من 10 إلى 30 جم/كجم. و تحتوي مكملات البروتين لموازنة الحبوب عادةً على حوالي 100 جم/كجم يوريا ولكن هناك بعض المنتجات المركزة بدرجة عالية تصل إلى 500 جم/كجم. عندما تشتمل الأغذية المركزة على اليوريا يكون ضرورياً خلطها بعناية للحد من تمركز تركيزات قد تكون لها تأثيرات سامة. تضاف اليوريا أحياناً إلى الجزء الخشن أو المركز من العليقة كمحلول محتوياً على حوالي 350 جم يوريا و 100 جم من المولاس (molasses) لكل كيلوجرام.

وقد تستخدم اليوريا لجميع أنواع المجترات ولكن بفعالية أقل في الحيوانات التي تكون فيها الكرش غير متطورة تماماً. في الظروف المكثفة المنخفضة والتي تشابه المزارع الكبرى، حيث تغذّى فيها الحيوانات على أغذية تحتوي بروتين بنوعية فقيرة وتركيز منخفض، هذه تكون مناسبة جداً لاستعمال القوالب أو الأغذية السائلة. تحت تلك الظروف، فإن رفع محتوى النيتروجين في الغذاء ربما يزيد معامل هضم والمأكول من العلف المالئ تحفيز النشاط الميكروبي. و تكون أبقار اللحم والأغنام المستهلكة لكميات قليلة من المركزات قادرة على استغلال اليوريا بكفاءة، كالحيوانات المتحصلة على كميات كبيرة من المركزات لحد الشبع (*ad libitum*)، مما ينتج عنه تناول الأغذية بكميات قليلة ومتكررة. و تستعمل أبقار اللبن

منخفضة الإنتاج المركزات المحتوية على اليوريا بكفاءة وذلك بسبب انخفاض المأكول من المركزات؛ الأبقار متوسطة وعالية الإنتاج والتي تعطي وجبات كبيرة من المركزات أثناء الحلب ليست كذلك. و هناك دليل قوي على انخفاض الأداء لتلك الحيوانات التي أعطيت أغذية محتوية على اليوريا.

عند معاملة التبن والأعلاف رديئة الجودة بالأمونيا فإن حوالي 0.3 إلى 0.5 من الأمونيا يحتجز بواسطة العلف وربما يستغل من قبل الكائنات الحية الدقيقة بالكرش بالطريقة نفسها التي تستغل بها الأمونيا المشتقة من اليوريا.

البيوريت Biuret

تنتج البيوريت عن طريق تسخين اليوريا، وهي عبارة عن مركب بللوري عديم اللون بالصبغة التالية:

$$NH_2.CO.NH.CO.NH_2$$

تحتوي البيوريت على 408 جم نيتروجين /كجم، وهذا يكافئ 2550 جم بروتين خام/كجم. تستخدم البيوريت من قبل المجترات، ولكنها تحتاج إلى فترة تأقلم كبيرة. يعجّل التأقلم عن طريق الحقن بسائل كرش من كرش حيوانات متأقلمة. إن نيتروجين البيوريت ليس بكفاءة استغلال نيتروجين اليوريا وهو مكلف جداً. البيوريت لها ميزة هامة وهي أنها ليست سامة حتى عند مستويات أكثر بكثير من التي يرجح وجودها في الأغذية.

و يجب أن تحمل الأغذية المركبة المحتوية على اليوريا، بيوريت، فوسفات اليوريا أو diureidoisobutane بحسب القانون بياناً عن كل من:

(أ) اسم المادة

(ب) الكمية الموجودة

(ج) نسبة النيتروجين، معبّر عنها كمكافئ بروتين، متوفرة عن طريق محتوى النيتروجين غير البروتيني في الغذاء.

(د) تعليمات الاستخدام مفصلة للحيوانات المستهدفة بالغذاء والمستويات الأقصى من النيتروجين غير البروتيني، الذي يجب عدم تجاوزه في العليقة اليومية.

مخلّفات الدواجن Poultry waste

يعرَّف مخلّف الدواجن قانوناً في المملكة المتحدة بأنه " المنتج المتحصل عليه عن طريق تجفيف وطحن مخلفات الدواجن المذبوحة. و يجب أن يكون المنتج خالياً فعلياً من الريش" (feeding stuffs Regulations 1993). بالرغم من الاعتراضات الفنية، استعمل زرق الدواجن(excreta) بنجاح في أغذية المجترات.

أسمدة الدواجن متباينة كثيراً في المكونات، ويعتمد ذلك على مصدرها. فتلك التي مصدرها الدجاج البياض المربى في أقفاص يكون محتوى الألياف فيها أقل مما في فرشة دجاج اللحم والتي بها أساس من التبن، رقائق خشب أو نشارة خشب استعملت كفرشة. (bedding).

تختلف فرشة دجاج اللحم أيضا في المكونات وتعتمد على عدد الدفعات التي وضعت بين تغييرات الفرشة. كل أنواع المخلفات بها محتوى مرتفع من الرماد، خصوصاً في حالة الدجاج البياض، عادةً حوالي 280 جم/كجم مادة جافة. معامل الهضم منخفض، وعلى الرغم من قيم الطاقة الأيضية نحو 6 إلى 9 قد وردت ، فإن 7.5 ميجا جول /كجم مادة جافة من المحتمل انه هو الرقم المنطقي. محتويات البروتين (نيتروجين × 6.25) متباينة، فيما بين 250 و350 جم/كجم مادة جافة، وبمعامل هضم نحو حوالي 0.65. معظم النيتروجين (600 جم/كجم على الأقل) موجود كمركبات غير بروتينية، في الأغلب (urates)، والتي يجب أن تتحول أولاً إلى يوريا ثم إلى أمونيا لكي تستغل من قبل الحيوان. التحوّل إلى اليوريا هي عادة عملية بطيئة والفقد وخطر التسمم يكونان فيها أقل مما في الأغذية المحتوية على اليوريا ذاتها. فضلات دجاج البيض من مصادر الكالسيوم الممتازة (حوالي 65 جم/كجم مادة جافة) إلا أن نسبة الكالسيوم إلى الفوسفور واسعة نوعاً ما وهي حوالي نحو 3 : 1؛ فرشة دجاج اللحم بها كالسيوم أقل بنسب مقاربة إلى 1:1.

لقد استخدمت معدلات إدخال غذائية تصل إلى 250 كجم/طن لأبقار اللبن وإلى نحو 400 كجم/طن لأبقار التسمين وقد دعمت مستويات مقبولة جداً من الأداء. لذلك، فإن أبقار اللبن التي أعطيت 110 كجم لكل طن من الغذاء لإحلال نصف كسب فول الصويا في غذاء التحكم قد انتجت 20 كجم لبن، مساوية تماماً لغذاء التحكم، ولكنها زادت في الوزن حوالي 0.58 كجم فقط /يوم مقارنة مع 0.95 كجم في حالة أغذية التحكم. فيما يتعلق بعجول التسمين المخصية، فقد أدت الأغذية المركزة المحتوية على

الفضلات إلى دعم الزيادات الوزنية قدرت بنحو 1 كجم/يوم ولكن تم تقدير أنه لإدخال كل 100 كجم من الزرق (excreta) لكل طن، انخفضت الزيادات في الوزن الحي بحوالي 40 جم/كجم.

إن الشيء الرئيسي الذي يثير القلق والمقيد لاستخدام مخلفات الدواجن في أغذية الحيوان هو الخوف من المخاطر الصحية الناشئة من وجود الكائنات الممرضة مثل *Salmonella* ووجود متبقيات المبيدات والعقاقير. إن المعاملة الحرارية المتضمنة في تجفيف وفي طرق عمل السيلاج المستخدمة لتخزين المواد تبدو فرصة مناسبة للسيطرة على الكائنات الممرضة، و قد أثبتت المبيدات أنها ليست مشكلة. ربما تكون بقايا العقاقير خطراً ولكن هذا يمكن التغلب عليه عن طريق وضع فترة انسحاب حوالي ثلاثة أسابيع قبل الذبح.

و تكون الطريقة المثلى لمعاملة مخلفات الدواجن لأجل استخدامها كأغذية حيوان بواسطة التجفيف، ولكن هذا مكلف وإن عملها كسيلاج إما بمفردها، مع العلف، أو مع وجبة شعير وملت أثبتت أنها ملائمة.

و قد نصت لوائح مواد العلف " The feeding stuffing Regulations 1991 " على انه "سوف لا يحق لأي إنسان بيع، أو حق حيازة بقصد البيع للاستعمال كمواد علف مركبة، أو لاستعمالها في مواد العلف المركبة، أي مادة تحتوي روث، بول أو محتويات معزولة من القناة الهضمية والناتجة من تفريغ أو إزالة القناة الهضمية، بصرف النظر عن أي صورة من المعاملة أو الخلط". عند الأخذ بتوحيد ذلك مع متطلبات "قانون البروتين الحيواني المعامل (أنظر أعلى)، فإن هذا يجعل استخدام مخلفات الدواجن مستحيلاً عملياً!

و يجب أن تحمل فضلات الدواجن (قانوناً) بياناً عن كمية البروتين المكافئة من حوض البولينا (uric acid) إذا كانت 1 % أو أكثر والكالسيوم إذا كانت زائدة عن 2 %.

مراجع الفصل الثالث والعشرون

1. Aherne F X and Kenelly J J 1982 Oilseed meals for livestock feeding. In Haresign W (ed.) *Recent Developments in Ruminant Nutrition*. London, Butterworths.
2. Altschul A M 1958 *Processed Plant Protein Foodstuffs*. New York, Academic Press.
3. Briggs M H (ed.) 1967 *Urea as a Protein Supplement*. London, Pergamon Press.
4. Gillies M T 1978 *Animal Feeds from Waste Materials*. New Jersey, Noyes Data.
5. Liener I E 1969 *Toxic Constituents of Plant Foodstuffs*. New York, Academic Press.
6. Liener I E 1990 Naturally occurring toxic factors in animal feedstuffs. In Wiseman J and Cole D J A (eds) *Feedstuff Evaluation*. London, Butterworths.
7. National Academy of Sciences 1976 *Urea and Other Non-protein Nitrogenous Compounds in Animal Nutrition*. Washington, DC, NAS Publishing and Printing Office.

الملحق

Appendix

1-1 التركيب الكيميائي للأغذية.

2-1 المحتويات المعدنية للأغذية.

3-1 تركيب الأحماض الأمينية في الأغذية.

4-1 فعالية الفيتامين في الأغذية.

2 القيم الغذائية للأغذية.

3 المقاييس الغذائية للأبقار الحلوب و الحوامل.

4 المقاييس الغذائية للأبقار النامية.

5 المقاييس الغذائية للنعاج الحوامل.

6 المقاييس الغذائية للنعاج الحلوب.

7 المقاييس الغذائية للحملان النامية.

8 المخصصات الغذائية من العناصر الصغرى للمجترات.

9 المستويات الغذائية القياسية من العناصر الغذائية للخنازير.

10 المستويات الغذائية القياسية من العناصر الغذائية للدواجن.

11 المخصصات المائية للحيوانات الزراعية.

12 الأوزان الحية الأيضية ($W^{0.75}$) للأوزان عند 10 كجم فترة فاصلة وإلى 690 كجم.

ملاحظات على استخدام الجداول

البيانات المعطاة في هذه الجداول جمعت من عدد من المصادر، القائمة الكاملة لها مبينة في نهاية الملحق. إن انعدام الأرقام لا يدل ضمناً على أنها تساوي صفر، ولكن المعلومات غير معطاة في هذه المصادر ليس إلا.

التركيب والقيمة الغذائية، جداول 1، 2

Composition and nutritive value

إن تركيب غذاء ما يختلف، وإن القيم المبينة في هذه الجداول يجب اعتبارها كأمثلة فقط وليست قيم ثابتة. للحصول على معلومات أكثر شمولية على القراء مراجعة المصادر.

المخصصات من العناصر الغذائية، الجداول 3- 10

Nutrient allowances

تعتمد التغذية العلمية على المقاييس المعبّر عنها إما في صورة " الاحتياجات من العناصر الغذائية أو "المخصصات من العناصر الغذائية". هذه المفردات تم تعريفها في الفصل **14**. الأشكال والجداول هي أساساً الاحتياجات من العناصر الغذائية حيث أنها لا تشتمل على حدود أمان. قيم الفيتامينات فقط لها حدود أمان. لم يكن ممكناً أن تشمل كل نوع من حيوانات المزرعة في هذه الجداول؛ أعطيت اختيارات ممثلة فقط، وللحصول على معلومات موسعة يجب على القراء مراجعة مصادر مناسبة.

اختصارات استعملت في الجداول

ADF- ألياف المنظف الحمضي.

ADIN- نيتروجين غير ذائب في المنظف الحمضي.

Av.- متيسر.

CF – الألياف الخام

CP- بروتين خام.

D – معامل هضم المادة العضوية في المادة الجافة.

DE- الطاقة المهضومة.

dec- مقشورة .

DM- مادة جافة.

DMI- المأكول من المادة الجافة.

DUP- البروتين غير المتحلل المهضوم.

EE- مستخلص الايثر.

ERDP- البروتين المتحلل فعلياً في الكرش.

exp- طارد.

extr- مستخلص.

FME- الطاقة الأيضية القابلة للتخمّر.

ME- طاقة أيضية .

MP- بروتين مهضوم.

NDF- ألياف المنظف المتعادل.

qm- قيمة الطاقة الأيضية من الطاقة الكلية.

W- الوزن الحي.

1.1 المكونات الكيميائية للأغذية

الغذاء	مادة جافة	علي أساس المادة الجافة (جم/كجم)							
	(جم/كجم)	ألياف خام	مستخلص الايثر	رماد	بروتين خام	ألياف المنظف المتعادل	ألياف المنظف الحمضي	نيتروجين مرتبط بألياف المنظف الحمضي	النشا والسكريات
محاصيل خضراء									
شعير، في مرحلة الإزهار	**250**	**316**	**16**	**64**	**68**				
كرنب	**150**	**160**	**47**	**107**	**160**	**244**	**136**		**320**
برسيم، احمر، إزهار مبكر	**190**	**274**	**37**	**84**	**179**				
برسيم، ابيض، إزهار مبكر	**190**	**232**	**42**	**116**	**237**	**400**	**253**		**84**
عشب، غض،(D 80–70)	**200**	**130**	**55**	**105**	**156**			**1.3**	
عشب، ناضج،(D 65–60)	**282**	**200**	**40**	**100**	**100**			**0.7**	
لفت	**140**	**179**	**36**	**136**	**157**	**243**	**197**	**2.3**	**284**
صفصفة، إزهار مبكر	**240**	**300**	**17**	**100**	**171**				
ذرة	**190**	**289**	**26**	**63**	**89**				
كرنب ابوركبه	**140**	**250**	**57**	**93**	**200**				
قمم بنجر السكر	**160**	**100**	**31**	**212**	**125**				
قصب السكر	**279**	**312**	**22**	**57**	**97**				
قمم السويد swede	**120**	**125**	**42**	**183**	**192**				
السيلاج									
شعير، محصول كامل	**324**	**248**	**15**	**153**	**64**	**575**	**274**	**2.2**	**267**
عشب، غض	**250**	**270**	**52**	**91**	**186**			**1.3**	
عشب، ناضج	**294**	**340**	**52**	**110**	**125**			**0.5**	
صفصفة	**250**	**296**	**84**	**100**	**168**	**495**	**406**	**1.7**	**16**
ذرة، محصول كامل	**210**	**233**	**57**	**62**	**110**	**480**	**277**	**2.7**	**211**
بطاطس	**270**	**26**	**19**	**52**	**81**				

يتبع جدول **1.1** المكونات الكيميائية للأغذية

الغذاء	مادة جافة	علي أساس المادة الجافة (جم/كجم)							
	(جم/كجم)	ألياف خام	مستخلص الايثر	رماد	بروتين خام	ألياف المنظف المتعادل	ألياف المنظف الحمضي	نيتروجين مرتبط بألياف المنظف الحمضي	النشا والسكريات
الدريس									
برسيم، احمر	**850**	**266**	**39**	**84**	**184**			**2.2**	
عشب، نوعية رديئة	**800**	**380**	**16**	**70**	**55**	**741**	**452**	**1.2**	
عشب، نوعية جيدة	**900**	**298**	**18**	**82**	**110**	**650**	**264**	**0.5**	
صفصفة،إزهار مبكر	**850**	**302**	**13**	**95**	**225**	**493**	**375**	**2.1**	
حشيش مجفف									
عشب	**929**	**210**	**38**	**102**	**190**	**541**	**282**	**2.3**	**148**
صفصفة	**900**	**247**	**51**	**100**	**220**	**465**	**336**	**2.0**	**81**
الاتبان									
الشعير	**860**	**394**	**21**	**53**	**38**	**811**	**509**	**1.0**	**32**
الشعير، معامل بالامونيا	**871**	**450**	**15**	**46**	**70**	**778**	**542**	**2.0**	**20**
لوبيا	**860**	**501**	**9**	**53**	**52**	**778**	**542**		**19**
الشوفان	**860**	**394**	**22**	**57**	**34**	**749**	**523**	**0.6**	**20**
الشوفان، معامل بالامونيا	**843**	**431**	**18**	**66**	**75**	**735**	**522**	**1.0**	**16**
الباسلاء	**860**	**410**	**19**	**77**	**105**				
القمح	**860**	**417**	**15**	**71**	**34**	**809**	**502**	**0.8**	
القمح، معامل بالامونيا	**869**	**434**	**13**	**56**	**68**	**773**	**544**	**1.5**	**13**
الجذور والدرنات									
خرشوف، بيت المقدس	**200**	**35**	**10**	**55**	**75**				
الكاسافا	**370**	**43**	**9**	**30**	**35**	**114**	**63**		**692**
بنجر العلف	**183**	**56**	**3**	**81**	**63**	**136**	**72**	**0.9**	**660**
شمندر الماشية	**120**	**58**	**8**	**67**	**83**				

يتبع جدول **1.1** المكونات الكيميائية للأغذية

الغذاء	مادة جافة	على أساس المادة الجافة (جم/كجم)							
	(جم/كجم)	ألياف خام	مستخلص الايثر	رماد	بروتين خام	ألياف المنظف المتعادل	ألياف المنظف الحمضي	نيتروجين مرتبط بألياف المنظف الحمضي	النشا والسكريات
البطاطس	**210**	**38**	**5**	**43**	**90**	**73**	**44**	**1.6**	**638**
لب بنجر السكر، مجفف	**900**	**203**	**7**	**34**	**99**	**372**	**213**	**1.6**	**82**
لب بنجر السكر، مجفف + مولاس	**876**	**132**	**4**	**88**	**110**	**321**	**179**	**0.9**	**300**
بنجر السكر + مولاس	**750**	**0**	**0**	**69**	**47**				**632**
قصب السكر+ مولاس	**737**	**0**	**4**	**100**	**55**				**657**
Swedes	**120**	**100**	**17**	**58**	**108**	**140**	**125**	**0.2**	**587**
البطاطا الحلوه	**320**	**38**	**16**	**34**	**39**			**0.2**	
اللفت	**90**	**111**	**22**	**78**	**122**			**1.6**	
الحبوب والمخلفات الناتجة عنها									
الشعير	**860**	**53**	**17**	**26**	**108**	**201**	**64**	**0.4**	**599**
الشعير، **bewers grains**	**263**	**176**	**77**	**41**	**234**	**618**	**264**	**3.9**	**51**
شعير، **malt culms**	**900**	**156**	**22**	**80**	**271**	**463**	**163**		**171**
Brewers yeast, dried	**900**	**2**	**11**	**102**	**443**				
Grain distillers grains	**250**				**265**	**383**		**15.8**	
Grain distillers, dark grains (maize)	**890**	**89**	**55**	**52**	**351**	**303**	**193**	**14.3**	**108**
Malt distillers grains	**248**	**199**	**86**	**34**	**211**	**673**	**694**		**23**
Malt distillers, dark grains	**907**	**121**	**67**	**60**	**275**	**420**	**175**		**65**
الذرة	**860**	**24**	**42**	**13**	**98**	**117**	**28**	**1.3**	**717**
الذرة، رقائق	**900**	**17**	**49**	**10**	**110**				
غذاء جلوتين الذرة	**900**	**39**	**38**	**28**	**262**	**383**	**114**	**1.4**	**210**
كسب جلوتين الذرة	**904**	**12**	**29**	**11**	**669**	**84**	**105**	**6.4**	**158**
الدّخن	**860**	**93**	**44**	**44**	**121**				

يتبع جدول **1.1** المكونات الكيميائية للأغذية

الغذاء	مادة جافة	على أساس المادة الجافة (جم/كجم)							
	(جم/كجم)	ألياف خام	مستخلص الايثر	رماد	بروتين خام	ألياف المنظف المتعادل	ألياف المنظف الحمضي	نيتروجين مرتبط بألياف المنظف الحمضي	النشا والسكريات
الشوفان	**860**	**105**	**49**	**33**	**109**	**310**	**149**	**0.4**	**482**
شوفان، مجرّد من القشرة	**854**	**45**	**97**	**23**	**119**	**114**	**42**	**0.5**	**597**
قشور الشوفان	**900**	**351**	**11**	**42**	**21**				
مخلفات نقيع الملت **Pot ale syrup**	**483**	**2**	**2**	**95**	**374**	**6**			**36**
ارز، اسمر	**907**		**23**	**9**	**111**				
ارز، نخالة(مستخلصة)	**905**		**11**	**149**	**166**	**451**	**275**	**1.4**	**256**
ارز، ملمّع	**860**	**17**	**5**	**9**	**77**				
الزوّان **Rye**	**860**	**26**	**19**	**21**	**124**	**357**			
الذرة الرفيعة	**860**	**21**	**43**	**27**	**108**	**107**	**57**		**745**
القمح	**860**	**26**	**19**	**21**	**124**	**124**	**30**	**0.4**	**701**
نخالة القمح	**880**	**114**	**45**	**67**	**170**	**475**	**137**		**259**
غذاء قمح	**880**	**74**	**45**	**50**	**178**	**363**	**111**	**0.4**	**333**
كسبة جنين القمح	**889**		**82**	**48**	**279**				
مخلفات البذور الزيتية									
كسبة جوز الهند	**900**	**153**	**76**	**72**	**220**			**2.5**	
كسبة بذور القطن،غير مقشورة	**900**	**248**	**54**	**66**	**231**			**3.2**	
كسبة بذور القطن، مقشورة	**900**	**87**	**89**	**74**	**457**			**2.0**	
كسبة الفول السوداني،غير مقشور	**900**	**273**	**21**	**47**	**343**				
كسبة الفول السوداني،مقشور	**900**	**88**	**8**	**63**	**552**	**180**	**146**	**2.0**	
كسبة بذور الكتان	**900**	**102**	**36**	**73**	**404**	**192**	**131**	**2.0**	**95**
كسبة نواة النخيل	**900**	**167**	**10**	**44**	**227**	**693**	**470**	**3.0**	**51**

يتبع جدول **1.1** المكونات الكيميائية للأغذية

الغذاء	مادة جافة	على أساس المادة الجافة (جم/كجم)							
	(جم/كجم)	ألياف خام	مستخلص الايثر	رماد	بروتين خام	ألياف المنظف المتعادل	ألياف المنظف الحمضي	نيتروجين مرتبط بألياف المنظف الحمضي	النشا والسكريات
كسبة بذرة الكرنب	**899**	**152**	**29**	**80**	**400**	**295**	**206**	**3.6**	**147**
كسبة فول الصويا	**900**	**58**	**17**	**62**	**503**	**125**	**91**	**2.2**	**124**
كسبة فول الصويا،كاملة الدهن	**898**	**48**	**222**	**54**	**415**	**122**	**82**		**91**
كسبة دوار الشمس، غير مقشور	**900**	**323**	**80**	**50**	**297**			**2.5**	
كسبة دوار الشمس، مقشور	**900**	**134**	**152**	**117**	**430**			**2.0**	
بذور البقوليات									
الباقلاء، الحقلية	**860**	**80**	**15**	**36**	**275**	**168**	**123**	**0.5**	**412**
الحمص	**860**	**57**	**13**						
البسلة	**860**	**63**	**19**	**32**	**261**	**116**	**76**	**4.8**	**497**
المخلفات الحيوانية									
مسحوق الدم	**870**		**9**	**40**	**919**			**0**	
مسحوق الريش، متحلل مائيا	**709**	**5**	**64**	**25**	**892**				**2**
مسحوق السمك، منتج في المملكة المتحدة	**915**		**69**	**238**	**699**			**0**	
مسحوق السمك، **Herring**	**920**		**75**	**122**	**793**			**0**	
مسحوق السمك،امريكي جنوبي	**900**		**60**	**197**	**733**			**0**	
مسحوق اللحم	**900**	**0**	**148**	**42**	**810**			**0**	
مسحوق اللحم والعظام	**900**	**0**	**50**	**62**	**597**			**0**	
لبن، بقري كامل	**128**	**0**	**305**	**55**	**266**			**0**	
لبن، فرز	**100**	**0**	**70**	**80**	**350**			**0**	

لبن، شرش	66	0	30	106	106			0	

جدول **2.1** محتوى الأغذية من العناصر المعدنية (على الأساس الجاف)

الغذاء	الكالسيوم	الفوسفور	الماغيسيوم	الصوديوم	النحاس	المنجنيز	الزنك	الكوبالت	السيلينيوم
	(جم/كجم)	(جم/كجم)	(جم/كجم)	(جم/كجم)	(ملجم/كجم)	(ملجم/كجم)	(ملجم/كجم)	(ملجم/كجم)	(ملجم/كجم)
المحاصيل الخضراء									
أعشاب، رعي مغلق	**5.0**	**3.5**	**1.7**	**1.9**	**8.0**	**–**	**–**	**0.10**	**0.05**
أعشاب، رعي موسّع	**4.8**	**2.8**	**1.7**	**1.7**	**7.0**	**16**	**5.0**	**0.08**	**0.04**
لفت، **Kale**	**21.0**	**3.2**	**2.5**	**2.0**	**4.5**	**38**	**–**	**0.10**	**0.05**
برسيم، نمو متأخر	**21.9**	**3.3**	**2.7**	**2.1**	**11.0**	**41**	**–**	**0.17**	**–**
قمم اللفت	**24.2**	**3.1**	**2.8**	**3.1**	**8.0**	**–**	**–**	**0.08**	**0.06**
السيلاج									
الحبوب، نمو خضري	**4.0**	**2.7**	**1.0**	**1.8**	**6.0**	**80**	**25**	**0.07**	**0.06**
أعشاب، مبكرة	**8.0**	**4.0**	**3.0**	**3.0**	**11.0**	**90**	**25**	**–**	**0.10**
إعشاب،ناضجة	**3.0**	**2.0**	**0.9**	**1.0**	**3.0**	**94**	**30**	**0.05**	**0.02**
الدريس									
النفل	**15.3**	**2.5**	**4.3**	**1.9**	**11.0**	**73**	**17**	**0.16**	**–**
اعشاب، رديئة النوعية	**2.5**	**1.5**	**0.8**	**1.0**	**2.0**	**70**	**17**	**0.05**	**0.01**
اعشاب، جيدة النوعية	**7.0**	**3.5**	**2.5**	**2.5**	**9.0**	**100**	**21**	**0.20**	**0.07**
برسيم، ناضج	**11.0**	**1.8**	**2.7**	**0.8**	**14.0**	**44**	**24**	**0.09**	**–**
الأتبان									
تبن شعير	**4.5**	**0.7**	**0.8**	**1.1**	**3.2**	**84**	**16**	**0.04**	**0.04**
تبن شوفان	**4.0**	**0.7**	**1.3**	**3.7**	**4.0**	**69**	**29**	**0.04**	**0.02**

يتبع جدول **2.1** محتوى الأغذية من العناصر المعدنية (على الأساس الجاف)

الغذاء	الكالسيوم	الفوسفور	الماغيسيوم	الصوديوم	النحاس	المنجنيز	الزنك	الكوبلت	السيلينيوم
	(جم/كجم)	(جم/كجم)	(جم/كجم)	(جم/كجم)	(ملجم/كجم)	(ملجم/كجم)	(ملجم/كجم)	(ملجم/كجم)	(ملجم/كجم)
الجذور والدرنات									
الكاسافا، مجففة	**2.0**	**1.0**	–	**0.2**	–	**20**	–	–	–
شمندر الماشية	**2.9**	**2.1**	**5.3**	**9.9**	**9.4**	–	–	**0.09**	**0.03**
البطاطس	**1.0**	**2.1**	**1.0**	**0.5**	**4.5**	**42**	**28**	**0.06**	**0.03**
لب بنجر السكر، مع المولاس، مجفف	**5.7**	**0.8**	**2.4**	**2.5**	**11.0**	**51**	**32**	**0.10**	**0.02**
سيويدي **Swedes**	**3.6**	**3.2**	**1.2**	**2.6**	**3.8**	**21**	**19**	**0.07**	**0.03**
اللفت	**5.0**	**3.6**	**1.4**	**2.2**	**2.7**	**35**	**36**	**0.04**	**0.03**
الحبوب والمخلفات الناتجة منها									
الشعير	**0.5**	**4.0**	**1.3**	**0.2**	**4.8**	**18**	**19**	**0.04**	**0.02**
bewers grains، مجففة	**3.2**	**7.8**	**1.8**	**0.4**	**25.0**	**50**	–	**0.03**	–
Brewers yeast,	**1.3**	**15.1**	**2.5**	**0.8**	**35.3**	**6**	**42**	–	–
distillers grains, malt	**1.7**	**3.7**	**1.4**	**0.9**	**10.0**	–	–	**0.02**	**0.02**
الذرة	**0.3**	**2.7**	**1.1**	**0.2**	**2.5**	**6**	**16**	**0.02**	**0.02**
كسبة جلوتين الذرة	**1.6**	**5.0**	**0.6**	**1.0**	**30.0**	**8**	**190**	**0.08**	–
الدخن	**0.6**	**3.1**	**1.8**	**0.4**	**24.4**	**32**	**16**	**0.04**	–
الشوفان	**0.8**	**3.7**	**1.3**	**0.2**	**3.6**	**42**	**41**	**0.04**	**0.03**
غذاء الشوفان	**1.5**	**2.9**	**1.0**	**0.2**	**3.9**	–	–	**0.04**	**0.03**
الارز	**0.7**	**3.2**	**1.5**	**0.6**	**3.0**	**20**	**17**	**0.05**	–
الزوّان،**Rye**	**0.7**	**3.7**	**1.4**	**0.3**	**8.0**	**66**	**36**	–	–

جدول **2.1** محتوى الأغذية من العناصر المعدنية (على الأساس الجاف)

الغذاء	الكالسيوم (جم/كجم)	الفوسفور (جم/كجم)	الماغيسيوم (جم/كجم)	الصوديوم (جم/كجم)	النحاس (ملجم/كجم)	المنجنيز (ملجم/كجم)	الزنك (ملجم/كجم)	الكوبلت (ملجم/كجم)	السيلينيوم (ملجم/كجم)
الذرة الرفيعة	**0.5**	**3.5**	**1.9**	**0.4**	**10.8**	**16**	**15**	**0.14**	**–**
القمح	**0.5**	**3.5**	**1.2**	**0.1**	**5.0**	**42**	**50**	**0.05**	**0.02**
نخالة القمح	**1.6**	**13.6**	**5.0**	**0.4**	**12.9**	**14.3**	**189**	**0.03**	**0.40**
غذاء القمح	**1.1**	**8.0**	**3.3**	**0.4**	**17.5**	**–**	**–**	**0.03**	**0.04**
البذور الزيتية و مخلفاتها									
كسبة جوز الهند	**2.3**	**6.6**	**2.8**	**0.4**	**20.4**	**59**	**–**	**0.14**	**–**
كسبة بذور القطن، مقشور	**1.9**	**12.4**	**5.0**	**0.6**	**16.0**	**25**	**79**	**0.05**	**–**
كسبة الفول السوداني، مقشور	**2.9**	**6.8**	**1.7**	**0.8**	**17.0**	**29**	**22**	**0.12**	**–**
كسبة بذرة الكتان	**4.1**	**8.6**	**5.8**	**0.7**	**25.0**	**42**	**–**	**0.55**	**0.91**
كسبة فول الصويا	**3.5**	**6.8**	**3.0**	**0.4**	**25.0**	**32**	**61**	**0.20**	**0.55**
بذور البقوليات									
الباقلاء	**1.0**	**5.5**	**2.0**	**0.1**	**14.0**	**16**	**46**	**0.20**	**–**
البسلة	**1.5**	**4.4**	**1.4**	**0.5**	**–**	**–**	**33**	**–**	**–**
المخلفات الحيوانية									
مسحوق السمك	**79.0**	**44.0**	**3.6**	**4.5**	**9.0**	**21**	**119**	**0.14**	**2.00**
مسحوق اللحم والعظام	**120**	**58.0**	**2.5**	**7.2**	**24.0**	**–**	**–**	**0.20**	**0.20**
شرش،مجفف	**9.2**	**8.2**	**1.4**	**7.0**	**50.0**	**6**	**3**	**0.13**	**–**

جدول **3.1** محتوى الأحماض الأمينية في الأغذية (جم/كجم) (على الأساس الجاف)

فالين	تايروسين	تريبتوفان	ثريونين	سيرين	فينايل الانين	ميثايونين	لايسين	ليوسين	ايزوليوسين	هستيدين	جلايسين	سيستين	آرجنين	نيتروجين	مادة جافة	المادة الغذائية
														جم/كجم	جم/ كجم	
4.9	**4.8**	**1.2**	**6.5**	**6.1**	**7.1**	**3.0**	**7.1**	**10.9**	**5.8**	**2.9**	**7.5**	**1.7**	**7.6**	**23.5**	**897**	عشب مجفف
11.3	**8.2**	**1.6**	**9.2**	**9.0**	**10.5**	**2.8**	**11.7**	**16.1**	**9.3**	**4.7**	**10.2**	**2.5**	**10.9**	**35.7**	**–**	برسيم مجفف
								الحبوب والمخلفات الناتجة منها								
5.1	**3.4**	**1.0**	**3.4**	**4.3**	**5.0**	**2.1**	**3.8**	**6.9**	**3.5**	**4.1**	**4.1**	**2.2**	**5.4**	**15.6**	**856**	الشعير
23.2	**14.9**	**4.9**	**20.6**	**–**	**18.1**	**7.0**	**32.3**	**31.9**	**21.4**	**10.7**	**21.9**	**5.0**	**21.9**	**71.0**	**930**	**Brewers yeast, dried**
11.7	**7.5**	**2.1**	**8.8**	**9.3**	**8.9**	**4.3**	**9.6**	**15.5**	**8.5**	**4.5**	**10.6**	**4.3**	**10.1**	**39.4**	**900**	**distillers, dark grains**
12.8	**8.5**	**3.6**	**6.0**	**6.4**	**7.7**	**3.4**	**6.8**	**13.0**	**8.0**	**4.0**	**12.9**	**2.4**	**3.8**	**42.9**	**–**	**Distillers solubles**
4.3	**3.9**	**0.4**	**3.2**	**4.3**	**4.5**	**2.3**	**2.5**	**11.1**	**3.0**	**2.6**	**3.3**	**1.9**	**4.3**	**13.5**	**852**	الذرة
33.0	**34.7**	**2.6**	**24.0**	**37.3**	**41.0**	**24.5**	**10.8**	**117.7**	**28.4**	**14.0**	**17.4**	**12.6**	**24.1**	**106.2**	**–**	كسبة جلوتين الذرة
5.1	**4.1**	**0.7**	**3.7**	**5.7**	**5.1**	**2.6**	**4.5**	**7.3**	**3.7**	**2.3**	**5.7**	**4.0**	**7.0**	**16.8**	**869**	الشوفان
5.0	**4.1**	**1.3**	**2.9**	**13.6**	**3.6**	**1.5**	**2.4**	**5.2**	**3.5**	**1.7**	**6.3**	**0.8**	**6.2**	**13.9**	**890**	الأرز، ملمع،رده **Rice brewers**
5.3	**3.8**	**1.0**	**2.9**	**3.9**	**4.2**	**1.6**	**2.1**	**11.8**	**4.2**	**1.9**	**3.5**	**1.6**	**3.4**	**14.1**	**870**	الذرة الرفيعة
4.5	**3.3**	**1.2**	**3.1**	**4.8**	**4.8**	**2.1**	**3.1**	**7.1**	**3.5**	**2.5**	**4.1**	**2.3**	**5.2**	**16.2**	**858**	القمح
7.1	**4.6**	**2.2**	**4.0**	**6.5**	**6.1**	**3.2**	**6.4**	**9.5**	**4.7**	**4.0**	**7.8**	**3.4**	**10.2**	**22.6**	**858**	غذاء القمح
								مخلفات البذور الزيتية								
18.9	**10.2**	**4.7**	**13.2**	**–**	**22.2**	**5.2**	**17.1**	**24.1**	**13.3**	**11.0**	**17.0**	**6.4**	**45.9**	**66.2**	**900**	كسبة بذور القطن
20.7	**19.9**	**3.0**	**13.5**	**23.1**	**25.1**	**5.6**	**16.4**	**29.9**	**15.7**	**11.3**	**26.4**	**5.6**	**57.0**	**75.5**	**897**	كسبة الفول السوداني
14.6	**18.5**	**1.8**	**12.1**	**17.4**	**13.1**	**3.0**	**17.0**	**26.8**	**16.5**	**8.5**	**13.6**	**6.2**	**42.7**	**60.8**	**–**	كسبة الترمس
19.6	**11.5**	**1.7**	**16.8**	**16.3**	**14.3**	**7.9**	**21.5**	**25.9**	**14.2**	**9.9**	**18.5**	**7.6**	**23.2**	**50.0**	**899**	كسبة بذور الكرنب
22.2	**17.7**	**5.5**	**17.9**	**23.5**	**23.0**	**7.9**	**28.5**	**35.0**	**20.3**	**12.6**	**19.5**	**6.0**	**35.3**	**70.9**	**861**	كسبة فول الصويا
14.3	**8.1**	**1.4**	**10.4**	**11.9**	**13.4**	**7.6**	**10.1**	**18.5**	**11.6**	**7.2**	**15.6**	**4.6**	**23.1**	**44.5**	**–**	كسبة بذور دوار الشمس
								بذور البقوليات								
11.2	**8.9**	**1.6**	**9.1**	**11.7**	**10.1**	**1.8**	**15.8**	**18.3**	**9.7**	**6.1**	**10.5**	**3.9**	**22.2**	**39.8**	**–**	الباقلاء***Vicia faba***
9.2	**7.2**	**0.9**	**8.0**	**9.5**	**8.9**	**2.5**	**15.2**	**14.4**	**8.2**	**5.3**	**8.7**	**3.0**	**17.2**	**31.4**	**–**	البسلة***Pisum* sativum**
								المخلفات الحيوانية								
30.7	**21.4**	**6.9**	**24.9**	**28.3**	**28.8**	**15.2**	**48.2**	**44.6**	**26.1**	**14.1**	**50.6**	**6.7**	**40.5**	**100.0**	**918**	مسحوق السمك
19.6	**9.6**	**2.1**	**14.3**	**16.0**	**14.6**	**6.5**	**22.0**	**26.1**	**11.6**	**7.7**	**70.6**	**2.7**	**32.4**	**73.3**	**957**	مسحوق اللحم والعظام
6.8	**2.5**	**1.9**	**8.9**	**3.2**	**3.3**	**1.9**	**9.7**	**11.9**	**8.2**	**1.8**	**3.0**	**3.0**	**3.4**	**19.2**	**930**	شرش، مجفف

جدول 4.1 فعالية الفيتامينات في الأغذية (على الأساس الطازج)

الغذاء	فعالية فيتامين A*	فيتامين E	الثيامين	الرايبوفلافين	حمض النيكوتين	حمض البلنتوثينك	فيتامين B_6	فيتامين B_{12}	الكولين
	وحدة عالمية/جم	وحدة عالمية/كجم	ملجم/كجم	ملجم/كجم	ملجم/كجم	ملجم/كجم	ملجم/كجم	ملجم/كجم	ملجم/كجم
المحاصيل الخضراء									
عشب، مجفف	328	150	–	15.5	74	–	–	–	890
برسيم، مجفف	267	200	–	16.6	43	–	–	0.003	1110
الحبوب والمخلفات الناتجة منها									
الشعير	0.7	20	1.9	1.8	55	8	3.0	–	990
Brewers yeast, dried	–	–	91.8	37.0	448	109	42.8	–	3984
الذرة	5.0	22	3.5	1.0	24	4	7.0	–	620
الشوفان	0.6	20	6.0	1.1	12	–	1.0	–	946
الارز	–	12	–	0.4	15	–	–	–	780
الزوّانRye	0.2	17	3.6	1.6	19	8	2.6	–	419
الذرة الرفيعة	0.7	12	4.0	1.1	41	12	3.2	–	450
القمح	0.4	13	4.5	1.4	48	10	3.4	–	1090
قمح،ردة ناعمة	0.5	20	–	2.2	100	–	–	–	1110
قمح، ردة خشنة	0.4	57	–	2.4	95	–	–	–	1170

يتبع جدول 4.1 فعالية الفيتامينات في الأغذية

الغذاء	فعالية فيتامين A*	فيتامين E	الثيامين	الرايبوفلافين	حمض النيكوتين	حمض البلنتوثينك	فيتامين B_6	فيتامين B_{12}	الكولين
	وحدة عالمية/جم	وحدة عالمية/كجم	ملجم/كجم	ملجم/كجم	ملجم/كجم	ملجم/كجم	ملجم/كجم	ملجم/كجم	ملجم/كجم
مخلفات البذور الزيتية									
كسبة جوز الهند	**–**	**16**	**–**	**3.3**	**27**	**–**	**–**	**–**	**1110**
كسبة بذور القطن (مقشور، معصور)	**0.3**	**39**	**6.4**	**5.1**	**38**	**10**	**5.3**	**–**	**2753**
كسبة الفول السوداني (قشور،مستخلص)	**–**	**3**	**5.7**	**11.0**	**170**	**53**	**10.0**	**–**	**2396**
كسبة الفول السوداني (مقشور، معصور)	**0.3**	**3**	**7.1**	**5.2**	**166**	**47**	**10.0**	**–**	**1655**
كسبة بذور الكتان(معصور)	**0.4**	**–**	**–**	**3.5**	**40**	**–**	**–**	**–**	**1660**
كسبة فول الصويا(مستخلص)	**–**	**2**	**4.5**	**2.9**	**29**	**16**	**6.0**	**–**	**2794**
المخلفات الحيوانية									
مسحوق السمك	**–**	**8**	**2.1**	**6.0**	**49**	**10**	**4.1**	**0.081**	**5180**
مسحوق اللحم	**–**	**1**	**0.2**	**5.5**	**57**	**5**	**3.0**	**0.068**	**2077**
لبن، فرز مجفف	**0.3**	**1**	**–**	**21.0**	**12**	**–**	**–**	**0.055**	**1060**

* للكتاكيت: في حالة المنتجات النباتية، القيم الخاصة بالخنازير والمجترات تساوي حوالي نصف القيم المقتبسة.

جدول 2 القيم الغذائية للأعلاف

الغذاء(العلف)	المجترات								الدواجن	الخنازير
	طاقة أيضية ميجا جول/كجم	FME ميجا جول/كجم	ERDP جم/كجم مادة جافة			DUP جم/كجم مادة جافة			طاقة أيضية ميجا جول/كجم	طاقة مهضومة ميجا جول/كجم
	مادة جافة	مادة جافة	0.02	0.05	0.08	0.20	0.05	0.08		
المحاصيل الخضراء										
شعير،في مرحلة االتزهير	10.0	9.4								
كرنب	10.8	9.2								1.4
نفل،احمر،بداية التزهير	10.2	8.9								
نفل،ابيض،بداية التزهير	9.0	7.5								
عشب، غض (D 80–75)	12.2	11.4	134	122	110	12	24	33		
عشب، ناضج،(D 65–60)	10.0	9.3	76	66	60	18	26	32		
اللفت، Kale	11.0	9.7	127	118	110	14	22	29		
برسيم، بداية التزهير	8.2	7.9								
الذرة	8.8	7.9								
كرنب	9.5	7.5								
قمم بنجر السكر	9.9	8.8								
سكر القصب	8.9	8.1								
قمم Swede	9.2	7.7								
السيلاج										
شعير، محصول كامل	8.7	7.8	45	42	40	4	7	10		
عشب، نامي	11.6	9.2	158	149	124	18	26	31		
عشب، ناضج	10.0	9.0	106	100	96	14	20	23		
برسيم	8.5	7.7	150	144	139	7	24	27		
ذرة،محصول كامل	10.8	9.7	89	86	84	4	7	9		
بطاطس	11.8	10.6								

يتبع جدول **2** القيم الغذائية للأعلاف

الغذاء(العلف)	المجترات								الدواجن	الخنازير
	طاقة أيضية ميجا جول/كجم	**FME** ميجا جول/كجم	**ERDP** جم/كجم مادة جافة			**DUP** جم/كجم مادة جافة			طاقة أيضية ميجا جول/كجم	طاقة مهضومة ميجا جول/كجم
	مادة جافة	مادة جافة	**0.02**	**0.05**	**0.08**	**0.20**	**0.05**	**0.08**		
الدريس										
نفل، احمر	**9.6**	**8.6**								
أعشاب، رديئة النوعية	**7.0**	**6.3**	**36**	**30**	**29**	**10**	**14**	**19**		
أعشاب، جيدة النوعية	**9.5**	**8.6**	**75**	**63**	**55**	**29**	**40**	**47**		
برسيم، مبكر التزهير	**8.2**	**7.4**	**173**	**161**	**151**	**35**	**45**	**55**		
حشائش مجففه										
عشب	**10.6**	**9.5**	**137**	**116**	**105**	**35**	**54**	**64**	**5.0**	**7.9**
برسيم	**9.1**	**8.2**	**178**	**161**	**150**	**26**	**42**	**52**	**4.6**	**8.5**
الأتبان										
الشعير	**6.5**	**5.8**	**25**	**23**	**21**	**6**	**8**	**10**		
الشعير ، معامل بالأمونيا	**7.5**	**7.0**	**50**	**48**	**46**	**7**	**8**	**10**		
باقلاء	**7.4**	**7.1**								
الشوفان	**7.0**	**6.7**	**23**	**20**	**18**	**6**	**9**	**11**		
الشوفان، معامل بالأمونيا	**7.8**	**7.2**	**30**	**23**	**21**	**35**	**41**	**43**		
بسلة	**6.7**	**6.0**								
قمح	**6.1**	**5.8**	**23**	**20**	**18/**	**6**	**8**	**10**		
قمح، معامل بالأمونيا	**7.4**	**6.9**	**48**	**47**	**46**	**9**	**11**	**11**		

يتبع جدول 2 القيم الغذائية للأعلاف

الغذاء(العلف)	المجترات								الدواجن	الخنازير
	طاقة أيضية ميجا جول/كجم	**FME** ميجا جول/كجم	**ERDP** جم/كجم مادة جافة			**DUP** جم/كجم مادة جافة			طاقة أيضية ميجا جول/كجم	طاقة مهضومة ميجا جول/كجم
	مادة جافة	مادة جافة	**0.02**	**0.05**	**0.08**	**0.20**	**0.05**	**0.08**		
الجذور والدرنات										
خرشوف، بيت المقدس	**13.2**	**12.9**								
الكاسافا	**12.8**	**12.5**							***12.7**	***13.4**
بنجر العلف	**11.9**	**11.8**	**52**	**49**	**47**	**5**	**7**	**9**		**2.3**
شمندر الماشية	**12.4**	**12.1**								
البطاطس	**12.5**	**12.3**	**74**	**71**	**68**	**6**	**8**	**11**	***12.1**	**3.4**
لب بنجر السكر،مجفف	**12.7**	**12.5**	**68**	**54**	**46**	**19**	**32**	**38**		
لب بنجر السكر،مجفف، مع المولاس	**12.5**	**12.4**	**67**	**52**	**46**	**10**	**29**	**38**		**10.0**
مولاس بنجر السكر	**12.9**	**12.9**	**37**	**37**	**37**	**10**	**10**	**10**	**7.9**	**10.3**
مولاس قصب السكر			**44**	**44**	**44**	**11**	**11**	**11**	**7.9**	**10.3**
السويدي **Swedes**	**12.8**	**12.2**								
البطاطا الحلوة	**12.7**	**12.1**								
اللفت	**11.2**	**10.4**	**100**	**96**	**92**	**11**	**14**	**18**		
الحبوب والمخلفات الناتجة منها										
الشعير	**12.8**	**12.2**	**96**	**90**	**85**	**8**	**14**	**18**	**11.4**	**12.9**
السعير، الحبوب المقطَّرة	**11.2**	**8.5**	**157**	**126**	**108**	**48**	**75**	**92**	**7.9**	
الشعير، بثل المالت	**11.2**	**10.4**							**8.4**	**8.0**
خميرة التقطير، مجففة	**11.7**	**11.3**								**14.0**
Grain distillerمجففة	**14.7**	**10.9**	**185**	**155**	**108**	**35**	**61**	**104**		**3.3**
Grain distiller grains, dark grains	**14.7**	**10.5**	**204**	**154**	**133**	**52**	**96**	**115**		**9.5**

يتبع جدول 2 القيم الغذائية للأعلاف

الغذاء(العلف)	المجترات								الدواجن	الخنازير
	طاقة أيضية ميجا جول/كجم	FME ميجا جول/كجم	ERDP جم/كجم مادة جافة			DUP جم/كجم مادة جافة			طاقة أيضية ميجا جول/كجم	طاقة مهضومة ميجا جول/كجم
	مادة جافة	مادة جافة	0.02	0.05	0.08	0.20	0.05	0.08		
Malt distillers` grains	10.2	7.2								2.8
Malt distillers` dark grains	12.2	9.9								9.0
Malt distillers` dried solubles	12.4									14.0
الذرة	14.2	12.7	43	32	28	42	52	55	13.4	14.5
الذرة، رقائق	15.0	13.3								15.6
غذاء جلوتين الذرة	12.7	11.5	228	204	191	23	44	56	7.6	12.4
كسب جلوتين الذرة	17.5	16.4	348	233	182	253	355	404	12.3	13.8
الدخن	11.3	9.8							12.0	
الشوفان	12.0	10.3	86	85	84	18	19	20	10.0	11.4
الشوفان، بدون قشور	14.8	11.7	95	94	92	19	20	22	13.8	
قشور الشوفان	4.9	4.5							2.0	3.7
Pot ale syrup	15.4	15.3								6.2
الارز، الاسمر									15.0	15.3
الارز، نخالة (مستخلصة	11.0	7.9	101	91	85	50	59	65	6.0	8.3
الارز، ملمّع	15.0	14.8								
الزوّان	14.0	13.3							12.1	13.9
الذرة الرفيعة	13.4	11.9							12.8	14.2
القمح	13.6	12.9	104	100	97	16	19	22	12.5	14.0
نخالة القمح	10.1	8.5							8.5	9.8
غذاء القمح	12.0	10.4	135	117	105	36	52	63	8.1	11.6
كسبة جنين القمح									11.1	

يتبع جدول 2 القيم الغذائية للأعلاف

الغذاء (العلف)	المجترات									الدواجن	الخنازير
	طاقة أيضية ميجا جول/كجم	FME ميجا جول/كجم	ERDP جم/كجم مادة جافة			DUP جم/كجم مادة جافة			طاقة أيضية ميجا جول/كجم	طاقة مهضومة ميجا جول/كجم
	مادة جافة	مادة جافة	0.02	0.05	0.08	0.20	0.05	0.08		
مخلفات البذور الزيتية										
كسبة جوز الهند	12.7	10.0	134	92	75	63	101	117	6.9	
كسبة بذور القطن، غير مقشور	8.5	6.6								10.1
كسبة بذور القطن، مقشور	12.3	9.2	343	265	224	59	125	165	10.9	
كسبة الفول السوداني، غير مقشور	6.2	8.5								
كسبة الفول السوداني، مقشور	13.7	11.3	447	370	.320	46	127	169	13.2	15.4
كسبة بذرة الكتان	11.9	8.9	323	283	259	61	98	120	8.7	13.1
كسبة لب النخيل	11.6	8.7	161	118	98	28	57	67	6.7	11.2
كسبة بذرة الكرنب	12.0	11.0	332	296	268	41	73	99	7.9	11.8
كسبة فول الصويا	13.3	12.7	433	342	287	70	147	194	9.6	15.0
كسبة فول الصويا،كاملة الدهن	15.5	7.7							14.0	18.0
كسبة دوّار الشمس، غير مقشور	9.5	6.7	258	232	211	21	45	63		9.0
كسبة دوّار الشمس، مقشور	10.4	10.0	374	335	305	27	54	74	8.3	
بذور البقوليات										
الباقلاء	13.4	13.0	228	209	195	39	57	69	10.0	12.7
الحمص	12.4	12.0								
بسلة	13.8	13.3	211	191	177	12	30	42	11.2	13.6

يتبع جدول 2 القيم الغذائية للأعلاف

الغذاء(العلف)	المجترات								الدواجن	الخنازير
	طاقة أيضية ميجا جول/كجم	FME ميجا جول/كجم	ERDP جم/كجم مادة جافة			DUP جم/كجم مادة جافة			طاقة أيضية ميجا جول/كجم	طاقة مهضومة ميجا جول/كجم
	مادة جافة	مادة جافة	0.02	0.05	0.08	0.20	0.05	0.08		
مخلفات المنتجات الحيوانية										
مسحوق الدم	12.8	12.5							13.0	15.2
مسحوق الريش، متحلل مائيا	12.5	10.3							12.8	12.4
مسحوق السمك، منتج بالمملكة المتحدة	14.6	12.2	447	350	308	182	350	391	12.9	15.5
مسحوق السمك،Herring	17.8	15.2	508	397	349	206	397	444	15.2	18.0
مسحوق السمك، الأمريكي الجنوبي	14.6	12.5	469	367	323	191	367	410	15.0	17.0
مسحوق اللحم	16.3	11.1							15.7	16.8
مسحوق اللحم، منخفض الدهن										14.4
مسحوق اللحم والعظام	9.7	8.0							7.1	10.5
اللبن، لبن بقر كامل	20.2	9.5								3.0
اللبن، الفرز	15.3	12.9							10.9**	1.5
اللبن، الشرش	14.5	13.5							12.0**	1.0

* معدل التدفق من الكرش، ** مجفف

جدول 3 مقاييس التغذية للأبقار الحلوب والحوامل

1.3 الاحتياجات اليومية لأبقار منتجة لبن به 38 جم دهن و 34 جم بروتين/كجم وتزن 550 كجم، $q_m = 0.55$

إنتاج اللبن (كجم/يوم)	0	5	10	15	20	25	أيام الحمل	
تغيرات الوزن الحي (كجم/يوم)	0	+ 0.6	+0.4	+0.25	0	– 0.2	230	260
المأكول من المادة الجافة (كجم)	9.7	11.8	14.0	16.1	17.2	17.2	10.7	10.7
الطاقة الأيضية (ميجا جول)	57	110	127	146	161	180	69	80
البروتين الأيضي (جم)	261	582	791	1008	1211	1421	335	380
الكالسيوم (جم)	22	39	55	72	87	100	33	39
الفوسفور (جم)	18	30	42	54	64	72	25	28
الماغنيسيوم (جم)	10	13	17	21	24	28	13	13
الصوديوم (جم)	4	7	10	13	16	19	6	6
فيتامينA (وحدة عالمية)	55000						55000	
فيتامين D(وحدة عالمية)	5500						5500	
فيتامين E، (وحدة عالمية)	330						330	

يتبع جدول 3

2.3 الاحتياجات اليومية لأبقار منتجة لبن به 38 جم دهن و 34 جم بروتين/كجم وتزن 550 كجم، $q_m = 0.60$

إنتاج اللبن (كجم/يوم)	0	5	10	15	20	25	أيام الحمل	
تغيرات الوزن الحي (كجم/يوم)	0	+ 0.6	+0.4	+0.25	0	– 0.2	230	260
المأكول من المادة الجافة (كجم)	9.7	11.8	14.0	16.1	17.2	17.2	10.7	10.7
الطاقة الأيضية (ميجا جول)	55	107	124	143	157	175	68	79
البروتين الأيضي (جم)	261	582	791	1008	1211	1421	335	380
الكالسيوم (جم)	22	39	55	72	87	100	33	39
الفوسفور (جم)	18	30	42	54	64	72	25	28
الماغنيسيوم (جم)	10	13	17	21	24	28	13	13
الصوديوم(جم)	4	7	10	13	16	19	6	6
فيتامين A (وحدة عالمية)	55000						55000	
فيتامين D (وحدة عالمية)	5500						5500	
فيتامين E، (وحدة عالمية)	330						330	

يتبع جدول 3

3.3 الاحتياجات اليومية لأبقار منتجة لبن به 38 جم دهن و 34 جم بروتين/كجم وتزن 550 كجم، $q_m = 0.65$

إنتاج اللبن (كجم/يوم)	0	5	10	15	20	25	30	أيام الحمل	
تغيرات الوزن الحي (كجم/يوم)	0	+ 0.6	+ 0.4	+ 0.25	0	– 0.2	– 0.4	230	260
المأكول من المادة الجافة (كجم)	9.7	11.8	14.0	16.1	17.2	17.2	17.2	10.7	10.7
الطاقة الأيضية (ميجا جول)	54	105	121	139	153	171	190	66	78
البروتين الأيضي (جم)	261	582	791	1008	1211	1421	1631	335	380
الكالسيوم (جم)	22	39	55	72	87	100	113	33	39
الفوسفور (جم)	18	30	42	54	64	72	79	25	28
الماغنيسيوم (جم)	10	13	17	21	24	28	32	12	12
الصوديوم (جم)	4	7	10	13	16	19	22	6	6
فيتامين A (وحدة عالمية)			55000				55000		
فيتامين D (وحدة عالمية)			5500				5500		
فيتامين E، (وحدة عالمية)			330				330		

يتبع جدول 3

4.3 الاحتياجات اليومية لأبقار منتجة لبن به 38 جم دهن و 34 جم بروتين/كجم وتزن 650 كجم، $q_m = 0.55$

إنتاج اللبن (كجم/يوم)	0	5	10	15	20	25	أيام الحمل	
تغيرات الوزن الحي (كجم/يوم)	0	+ 0.6	+ 0.4	+ 0.25	0	− 0.2	230	260
المأكول من المادة الجافة (كجم)	10.5	13	15	17	17.5	17.5	12	12
الطاقة الأيضية (ميجا جول)	64	117	134	153	168	187	80	93
البروتين الأيضي (جم)	296	616	826	1043	1246	1456	384	416
الكالسيوم (جم)	25	42	58	75	89	102	37	43
الفوسفور (جم)	20	32	44	56	64	72	27	30
الماغنيسيوم (جم)	12	15	19	23	26	30	14	14
الصوديوم (جم)	5	8	11	14	17	20	8	8
فيتامين A (وحدة عالمية)	65000						65000	
فيتامين D (وحدة عالمية)	6500						6500	
فيتامين E، (وحدة عالمية)	385						385	

يتبع جدول 3

5.3 الاحتياجات اليومية لأبقار منتجة لبن به 38 جم دهن و 34 جم بروتين/كجم وتزن 550 كجم، $q_m = 0.60$

إنتاج اللبن (كجم/يوم)	0	5	10	15	20	25	أيام الحمل	
تغيرات الوزن الحي (كجم/يوم)	0	+ 0.6	+0.4	+0.25	0	− 0.2	230	260
المأكول من المادة الجافة(كجم)	10.5	13	15	17	17.5	17.5	12	12
الطاقة الأيضية (ميجا جول)	62	114	131	149	164	182	78	92
البروتين الأيضي (جم)	296	616	826	1043	1246	1456	384	416
الكالسيوم(جم)	25	42	58	75	89	102	37	43
الفوسفور (جم)	20	32	44	56	64	72	27	30
الماغنيسيوم (جم)	12	15	19	23	26	30	14	14
الصوديوم (جم)	5	8	11	14	17	20	8	8
فيتامينA (وحدة عالمية)	65000						65000	
فيتامين D (وحدة عالمية)	6500						6500	
فيتامين E، (وحدة عالمية)	385						385	

يتبع جدول 3

6.3 الاحتياجات اليومية لأبقار منتجة لبن به 38 جم دهن و 34 جم بروتين/كجم وتزن 650 كجم، $q_m = 0.65$

إنتاج اللبن (كجم/يوم)	0	5	10	15	20	25	30	أيام الحمل	
تغيرات الوزن الحي (كجم/يوم)	0	+ 0.6	0.4+	0.25+	0	– 0.2	– 0.4	230	260
المأكول من المادة الجافة (كجم)	10.5	13	15	17	17.5	17.5	18	12	12
الطاقة الأيضية (ميجا جول)	61	111	127	146	159	178	196	77	91
البروتين الأيضي (جم)	296	616	826	1043	1246	1456	1666	384	416
الكالسيوم (جم)	25	42	58	75	89	102	116	37	43
الفوسفور (جم)	20	32	44	56	64	72	81	27	30
الماغنيسيوم (جم)	12	15	19	23	26	30	34	14	14
الصوديوم (جم)	5	8	11	14	17	20	23	8	8
فيتامين A (وحدة عالمية)	65000							65000	
فيتامين D (وحدة عالمية)	6500							6500	
فيتامين E، (وحدة عالمية)	385							385	

جدول 4 مقاييس التغذية للأبقار النامية

1.4 الاحتياجات اليومية لأبقار وزنها الحي 200 كجم

الفئة[a]	المكوّن	الزيادة في الوزن الحي[b] (كجم/يوم)					المادة الجافة المأكولة (كجم/يوم)[b]
		0	0.5	0.75	1.0	1.25	
عجلات من سلالة صغيرة الحجم	طاقة أيضية، (ميجا جول)	26\27	40\44	50\56	62\-	78\-	6.5\5.0
	بروتين أيضي، جم	122	224	270	313	377	
ذكور مخصية من سلالة متوسطة الحجم	طاقة أيضية، (ميجا جول)	26\27	37\40	45\49	54\-	65\-	6.5\5.0
	بروتين أيضي، جم	122	249	306	361	411	6.5\5.0
طلائق من سلالة كبيرة الحجم	طاقة أيضية، (ميجا جول)	30\31	37\40	42\45	47\52	54\-	6.5\5.0
	بروتين أيضي، جم	122	274	343	408	469	
جميع السلالات	الكالسيوم (جم)	4	16	22	28	32	
	الفوسفور (جم)	5	15	20	25	27	
	الماغنيسيوم (جم)	3.5	4.8	5.4	6.0	6.6	
	الصوديوم (جم)	1.5	2.3	2.7	3.1	3.5	
	فيتامين A (وحدة عالمية)	14000					
	فيتامين D (وحدة عالمية)	1200					
	فيتامين E، (وحدة عالمية)	115					

a: الفئات: توجد تسع فئات من الابقار النامية (تركيبة من ثلاثة أحجام من السلالات وثلاثة أجناس). من الفئات الثلاث المبينة في هذا الجدول، المخصيات للسلالات متوسطة الحجم هي الفئة المتوسطة، والاثنتان الاخريتان هي أطراف المدى.

b: القيم المفصولة بواسطة فاصلة مائلة (/) معطاة، الأولي للأغذية التي فيها(qm) = 0.55 والثانية للاغذية التي فيها (qm) = 0.65. الفراغ الذي يسبق الفاصلة المائلة يشير الي ان مستوي الأداء لا يرجح تحقيقه بالأغذية التي تكون فيها (qm) منخفضة.

يتبع جدول 4

2.4 الاحتياجات اليومية لأبقار وزنها الحي 400 كجم

الفئة	المكوّن	الزيادة في الوزن الحي (كجم/يوم)					المادة الجافة المأكولة (كجم/يوم)
		0	0.5	0.75	1.0	1.25	
عجلات من سلالة صغيرة الحجم	طاقة أيضية، (ميجا جول)	42\44	64\70	79\88	97\–	120\–	11.0 \ 8.5
	بروتين أيضي، جم	206	297	338	377	413	
ذكور مخصية من سلالة متوسطة الحجم	طاقة أيضية، (ميجا جول)	42\44	59\64	71\79	84\95	100\–	11.0 \ 8.5
	بروتين أيضي، جم	206	319	371	420	465	
طلائق من سلالة كبيرة الحجم	طاقة أيضية، (ميجا جول)	48\50	60\64	67\72	75\82	86\94	11.0\8.5
	بروتين أيضي، جم	206	342	404	463	517	
جميع السلالات	الكالسيوم (جم)	8	19	25	31	34	
	الفوسفور (جم)	9	19	24	31	31	
	الماغنيسيوم (جم)	7.1	8.3	8.9	9.5	10.1	
	الصوديوم (جم)	2.6	3.8	4.2	4.6	5.0	
	فيتامين A (وحدة عالمية)	28000					
	فيتامين D (وحدة عالمية)	2400					
	فيتامين E، (وحدة عالمية)	195					

a ، b: انظر جدول 1.4

جدول 5 مقاييس التغذية للنعاج الحوامل

1.5 الاحتياجات اليومية لنعاج مفترض ان لديها تغير صفري في الوزن الحي

وزن النعجة (كجم)	المكوّن	عدد الأيام منذ الإخصاب							
		حمل مفرد				حملان توائم			
		98	112	126	140	98	112	126	140
55	المأكول من المادة الجافة (كجم)	1.2	1.2	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3	1.2
	الطاقة الأيضية (ميجا جول)	7.9	8.8	9.9	11.3	8.9	10.2	12.0	14.4*
	بروتين أيضي، جم	72	76	82	89	77	84	93	104
	الكالسيوم (جم)	3.1	3.8	4.5	5.1	3.9	5.0	6.2	7.2
	الفوسفور (جم)	2.7	2.9	3.0	3.0	3.2	3.5	3.8	3.8
	الماغنيسيوم (جم)	1.0	1.0	1.3	1.3	1.0	1.0	1.5	1.5
	الصوديوم (جم)	1.8				1.8			
	فيتامين A (وحدة عالمية)	5500				5500			
	فيتامين D (وحدة عالمية)	550				550			
	فيتامين E، (وحدة عالمية)	40				45			
75	المأكول من المادة الجافة (كجم)	1.5	1.5	1.5	1.4	1.6	1.6	1.6	1.5
	الطاقة الأيضية (ميجا جول)	10.1	11.1	12.5	14.3	11.3	12.9	15.2	18.2*
	بروتين أيضي، جم	86	91	98	106	92	100	111	126
	الكالسيوم (جم)	3.8	4.6	5.6	6.3	4.7	6.0	7.6	8.9
	الفوسفور (جم)	3.4	3.6	3.8	3.8	4.0	4.4	4.7	4.8
	الماغنيسيوم (جم)	1.3	1.3	1.7	1.7	1.3	1.3	2.0	2.0
	الصوديوم (جم)	2.5				2.5			
	فيتامين A (وحدة عالمية)	7500				7500			
	فيتامين D (وحدة عالمية)	750				750			
	فيتامين E، (وحدة عالمية)	55				60			

يتبع جدول 5

2.5 الاحتياجات اليومية لنعاج مفترض أن لديها تغير صفري في الوزن الحي

وزن النعجة (كجم)	المكوّن	عدد الأيام منذ الإخصاب							
		حمل مفرد				حملان توائم			
		98	112	126	140	98	112	126	140
55	المأكول من المادة الجافة (كجم)	1.2	1.2	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3	1.2
	الطاقة الأيضية (ميجا جول)	6.0	6.8	7.9	9.3	6.9	8.2	10.0	12.3
	بروتين أيضي، جم	66	70	76	83	71	78	87	98
	الكالسيوم (جم)	3.1	3.8	4.5	5.1	3.9	5.0	6.2	7.2
	الفوسفور (جم)	2.7	2.9	3.0	3.0	3.2	3.5	3.8	3.8
	الماغنيسيوم (جم)	1.0	1.0	1.3	1.3	1.0	1.0	1.5	1.5
	الصوديوم (جم)	1.8				1.8			
	فيتامينA (وحدة عالمية)	5500				5500			
	فيتامين D(وحدة عالمية)	550				550			
	فيتامين E، (وحدة عالمية)	40				45			
75	المأكول من المادة الجافة(كجم)	1.5	1.5	1.5	1.4	1.6	1.6	1.6	1.5
	الطاقة الأيضية (ميجا جول)	7.1	8.1	9.4	11.2	8.2	9.9	12.2	15.1
	بروتين أيضي، جم	77	82	89	98	83	91	10.2	11.7
	الكالسيوم (جم)	3.8	4.6	5.6	6.3	4.7	6.0	7.6	8.9
	الفوسفور (جم)	3.4	3.6	3.8	3.8	4.0	4.4	4.7	4.8
	الماغنيسيوم (جم)	1.3	1.3	1.7	1.7	1.3	1.3	2.0	2.0
	الصوديوم (جم)	2.5				2.5			
	فيتامين A (وحدة عالمية)	7500				7500			
	فيتامين D (وحدة عالمية)	750				750			
	فيتامين E، (وحدة عالمية)	55				60			

جدول 6

1.6 الاحتياجات اليومية لنعاج حلوب وضعت خارج الحظائر ومفترض أن لديها تغير صفري في الوزن الحي ، $q_m = 0.625$

وزن النعجة (كجم)	المكوّن	أسابيع الإدرار					
		حمل مفرد			حملان توائم		
		1 - 4	5 - 8	9 - 12	1 - 4	5 - 8	9 - 12
55	المأكول من المادة الجافة (كجم)	1.5	1.7	1.6	1.6	1.8	1.7
	الطاقة الايضية (ميجا جول)	16.7	15.8	13.2	*22.0	20.0	16.0
	بروتين ايضي، جم	154	145	120	204	184	146
	الكالسيوم(جم)	6.1	5.9	4.8	8.4	7.8	6.0
	الفوسفور(جم)	5.4	5.5	4.6	7.2	6.9	5.6
	الماغنيسيوم(جم)	2.2	2.1	1.7	2.9	2.6	2.1
	الصوديوم(جم)	2.1	2.0	1.9	2.4	2.3	2.0
	فيتامين A (وحدة عالمية)	5500			5500		
	فيتامين D (وحدة عالمية)	550			550		
	فيتامين E، (وحدة عالمية)	40			45		
75	المأكول من المادة الجافة(كجم)	1.9	2.2	2.0	2.0	2.3	2.1
	الطاقة الايضية(ميجاجول)	*23.8	22.3	17.7	*30.9	26.3	20.4
	بروتين ايضي، جم	223	209	164	289	246	191
	الكالسيوم(جم)	9.0	8.8	6.7	12.0	10.5	7.9
	الفوسفور (جم)	8.0	8.1	6.4	10.2	9.4	7.4
	الماغنيسيوم (جم)	3.3	3.1	2.5	4.2	3.6	2.9
	الصوديوم (جم)	3.0	2.9	2.6	3.4	3.1	2.8
	فيتامين A (وحدة عالمية)	7500			7500		
	فيتامين D (وحدة عالمية)	750			750		
	فيتامين E، (وحدة عالمية)	55			60		

يتبع جدول 6

2.6 الاحتياجات اليومية لنعاج حلوب وزنها 55 كجم وضعت خارج الحظائر وتفقد 50 جم/يوم ونعاج وزنها 75 كجم/يوم وتفقد 75 جم/يوم ، q_m = 0.625

وزن النعجة (كجم)	المكوّن	أسابيع الإدرار					
		حمل مفرد			حملان توائم		
		1 - 4	5 - 8	9 - 12	1 - 4	5 - 8	9 - 12
55	المأكول من المادة الجافة(كجم)	1.5	1.7	1.6	1.6	1.8	1.7
	الطاقة الايضية (ميجا جول)	14.9	14.0	11.5	20.2*	18.1	14.2
	بروتين ايضي، جم	148	139	114	198	179	140
	الكالسيوم(جم)	6.1	5.9	4.8	8.4	7.8	6.0
	الفوسفور (جم)	5.4	5.5	4.6	7.2	6.9	5.6
	الماغنيسيوم (جم)	2.2	2.1	1.7	2.9	2.6	2.1
	الصوديوم (جم)	2.1	2.0	1.9	2.4	2.3	2.0
	فيتامينA (وحدة عالمية)	5500			5500		
	فيتامين D (وحدة عالمية)	550			550		
	فيتامين E، (وحدة عالمية)	40			45		
75	المأكول من المادة الجافة(كجم)	1.9	2.2	2.0	2.0	2.3	2.1
	الطاقة الايضية (ميجا جول)	21.1	19.6	15.0	28.1*	23.5	17.7
	بروتين ايضي، جم	214	200	155	280	237	182
	الكالسيوم (جم)	9.0	8.8	6.7	12.0	10.5	7.9
	الفوسفور (جم)	8.0	8.1	6.4	10.2	9.4	7.4
	الماغنيسيوم (جم)	3.3	3.1	2.5	4.2	3.6	2.9
	الصوديوم (جم)	3.0	2.9	2.6	3.4	3.1	2.8
	فيتامينA (وحدة عالمية)	7500			7500		
	فيتامين D(وحدة عالمية)	750			750		
	فيتامين E، (وحدة عالمية)	55			60		

جدول 7 مقاييس التغذية للحملان النامية

1.7 الاحتياجات اليومية لحملان وزنها الحي 20 كجم

الفئة	المكوّن	الزيادة في الوزن الحي[a] (جم/يوم)				المأكول من المادة الجافة (كجم/يوم)[a]
		0	50	100	150	
الإناث	الطاقة الايضية (ميجا جول)	3.2 \ 3.4	4.2 \ 4.5	5.3 \ 5.8	6.5 \ –	0.56 \ 0.46
	بروتين ايضي، جم	21 [b]	45	58	71	0.56 \ 0.46
الذكور المخصية	الطاقة الايضية (ميجا جول)	3.2 – 3.4	4.2 \ 4.5	5.2 \– 5.7	6.2 \ –	
	بروتين ايضي، جم	21[b]	47	61	76	
الذكور العادية	الطاقة الايضية (ميجا جول)	3.7 \ 3.9	4.5 \ 4.8	5.4 \ 5.8	6.4\ –	0.56 \ 0.46
	بروتين ايضي، جم	21[b]	47	61	76	
جميع الأجناس	الكالسيوم (جم)	0.7	1.6	2.5	3.4	
	الفوسفور (جم)	0.5	1.0	2.0	3.0	
	الماغنيسيوم (جم)	0.38	0.50	0.61	0.72	
	الصوديوم (جم)	057.	0.63	0.69	0.75	
	فيتامين A (وحدة عالمية)	660				
	فيتامين D (وحدة عالمية)	120				
	فيتامين E، (وحدة عالمية)	21				

a : عند وجود قيم مفصولة بفاصلة مائلة (/) فإن الأولي للأغذية التي بها q_m = 0.55 والثانية للأغذية التي بها q_m = 0.65. الفراغ الموجود قبل الفاصلة المائلة يشير إلى أن الأداء لا يرجح تحقيقه بالأغذية المنخفضة في q_m .

b : الاحتياج الأساسي للحفظ والمبين هنا لا يشمل مخصصات البروتين لنمو الصوف. إذا وضعت الحملان عند مستوي الحفظ فإن نمو الصوف لديها سيستمر، وستحتاج إلى 11 جم/يوم إضافية من البروتين الايضي لهذا الغرض.

يتبع جدول 7

2.7 الاحتياجات اليومية لحملان وزنها الحي 35 كجم

الفئة	المكوّن	الزيادة في الوزن الحي (جم/يوم)				المأكول من المادة الجافة (كجم/يوم)
		0	50	100	150	
الإناث	الطاقة الايضية (ميجا جول)	5.0 \ 5.2	6.5 \ 7.0	8.2 \ 9.1	10.2 \ –	0.92 \ 0.77
	بروتين ايضي، جم	31[b]	54	65	77	
الذكور المخصية	الطاقة الايضية (ميجا جول)	5.0 \ 5.2	6.3 \ 6.8	7.8 \ 8.5	9.5\ –	0.92 \ 0.77
	بروتين ايضي، جم	31[b]	56	70	83	
الذكور العادية	الطاقة الايضية (ميجا جول)	5.7 \ 6.0	6.9 \ 7.4	8.3 \ 9.0	9.8\ –	0.92 \ 0.77
	بروتين ايضي، جم	31[b]	56	70	83	
جميع الأجناس	الكالسيوم (جم)	0.9	1.7	2.5	3.4	
	الفوسفور (جم)	0.9	1.6	2.5	3.5	
	الماغنيسيوم (جم)	0.62	0.74	0.85	1.00	
	الصوديوم (جم)	0.99	1.05	1.10	1.15	
	فيتامين A (وحدة عالمية)	1200				
	فيتامين D (وحدة عالمية)	210				
	فيتامين E، (وحدة عالمية)	25				

a, b انظر جدول 1.7

جدول 8 المخصصات الغذائية (ملجم / كجم مادة جافة) من العناصر الصغرى للمجترات

العنصر	الأبقار		الأغنام	
النحاس	عجل قبل الاجترار	**2**	حمل قبل الاجترار	**1**
	أخري	**12**	حملان نامية	**3**
الحديد	قبل الفطام	**30**	أخرى	**6**
	بعد الفطام	**40**	جميع الأنواع	**30**
	> **150** كجم وزن حي	**30**		
	حوامل وحلوب	**40**		
اليود	الشتاء	**0.4**	الشتاء	**0.5**
	الصيف	**0.15**	الصيف	**0.15**
	عند وجود الدّراق	**2.00**	عند وجود الدّراق	**2.00**
الكوبلت	جميع الأنواع	**0.11**	جميع الأنواع	**0.11**
السيلينيوم	جميع الأنواع	**0.10**	جميع الأنواع	**0.10**
الزنك	جميع الأنواع	**40**	جميع الأنواع	**40**
المنجنيز	جميع الأنواع	**40**	جميع الأنواع	**40**

جدول 9 المستويات النموذجية للعناصر الغذائية للخنازير (على الأساس الطازج) 1.9 الخنازير النامية

المكوّن	الوزن الحي (كجم)	
	50 – 20	90 – 50
الغذاء (كجم / يوم)	2.0 – 1.22	2.7 – 2.2
الطاقة المهضومة(ميجا جول/ مكجم)	14.0	13.0
البروتين الخام (جم/كجم)	205	175
البروتين المثالي (جم/كجم)	165	145
حمض اللايسين (جم/كجم)	11.6	10.0
ميثايونين + سيستين (جم/كجم)	5.8	5.0
الثريونين (جم/كجم)	6.9	6.0
التريبتوفان (جم/كجم)	1.7	1.4
الكالسيوم (جم/كجم)	9.8	7.8
الفوسفور (جم/كجم)	7.0	5.9
الملح (جم/كجم)	3.2	3.0
الحديد** (ملجم/كجم)	62 (210)	57 (195)
الماغنيسيوم (ملجم/كجم)	308	221
الزنك** (ملجم/كجم)	56 (154)	47 (130)
االنحاس (ملجم/كجم)	5.6	5.2
المنجنيز (ملجم/كجم)	11.2	10
اليود* (ملجم/كجم)	0.15 (0.3)	0.14 (0.3)
السيلينيوم (ملجم/كجم)	0.15	0.14
فيتامين A (وحدة عالمية/كجم)	8000	6000
فيتامين D (وحدة عالمية/كجم)	1000	800
فيتامين E (وحدة عالمية/كجم)	15	15
فيتامين K (وحدة عالمية/كجم)	1	1
احماض دهنية ضرورية(جم/كجم)	10	7
الثيامين (ملجم/كجم)	1.5	1.5
الرايبوفلافين (ملجم/كجم)	3.0	3.0
حمض النيكوتين (ملجم/كجم)	15	15
حمض البانتوثينك (ملجم/كجم)	10	10
البايردوكسين (ملجم/كجم)	2.5	2.5
الكولين (ملجم/كجم)	1000	1000
البيوتين (ملجم/كجم)	0.2	0.2
فيتامين B12 (ملجم/كجم)	0.01	0.01

* استعمال مستوى أعلى (بين الأقواس) عندما تحتوي الأغذية على كسبة الكرنب **Rapeseed meal**.

** استعمال مستوى أعلى (بين الأقواس) عندما يستخدم النحاس كمحفز للنمو.

2.9 خنازير التربية

المكوّن	إناث الخنازير		الذكور
	حوامل	حلوب	
الغذاء (كجم / يوم)	2.4 – 1.9	5.9 – 5.3**	2.6 – 2.2
الطاقة المهضومة(ميجا جول/ كجم)	13.0	13.5	13.0
البروتين الخام (جم/كجم)	140 – 120	180 – 150	150
حمض اللايسين (جم/كجم)	4.0	8.0	6.5
ميثايونين + سيستين (جم/كجم)	2.5	4.0	3.3
الثريونين (جم/كجم)	2.9	4.8	3.9
الايزوليوسين (جم/كجم)	2.6	4.4	3.6
الليوسين (جم/كجم)	4.8	9.0	6.5
التريبتوفان (جم/كجم)	0.7	1.4	1.0
الكالسيوم (جم/كجم)	8.5	8.8	8.5
الفوسفور (جم/كجم)	6.5	8.8	6.5
الملح (جم/كجم)	3.5	3.5	3.5
الحديد (ملجم/كجم)	60	60	60
الزنك (ملجم/كجم)	50	50	100
االنحاس (ملجم/كجم)	5	6	5
المنجنيز (ملجم/كجم)	15	16	15
اليود (ملجم/كجم)	0.5*	0.5	0.5*
السيلينيوم (ملجم/كجم)	0.15	0.15	0.15
فيتامين A (وحدة عالمية/كجم)	6000	6000	6000
فيتامين D (وحدة عالمية/كجم)	750	750	750
فيتامين E (وحدة عالمية/كجم)	15	15	15
فيتامين K (وحدة عالمية/كجم)	1	1	1
احماض دهنية ضرورية(جم/كجم)	7	7	7
الثيامين (ملجم/كجم)	1.5	1.5	1.5
الرايبوفلافين (ملجم/كجم)	3.0	3.0	3.0
حمض النيكوتين (ملجم/كجم)	15	15	15
حمض البانتوثينك (ملجم/كجم)	10	10	10
البايردوكسين (ملجم/كجم)	1.5	1.5	1.5
الكولين (ملجم/كجم)	1500	1500	1500
البيوتين (ملجم/كجم)	0.30	0.30	0.30
فيتامين B_{12} (ملجم/كجم)	0.015	0.015	0.015

* 0.9 في الأغذية المحتوية على كسبة الكرنب **Rapeseed meal**

** أو لحد الشبع.

جدول 10 المستويات النموذجية للعناصر الغذائية للدواجن (على الأساس الطازج) 1.10 الدجاج

المكوّن	الكتاكيت النامية		البداري	الدجاج البياض	دجاج التربية	بادئ اللحم	مكمل اللحم
	0– 6 أسبوع	6 – 12 أسبوع	12– 18 أسبوع				
الطاقة الايضية (ميجا جول/كجم)	11.5	10.9	10.9	11.1	11.1	12.6	12.6
البروتين الخام(جم/كجم)	210	145	120	160	160	230	190
الأحماض الامينية (جم/كجم)							
الآرجينين	11	7.1	6.7	4.9	4.9	12.6	9.5
الجلايسين+ السيرين	13.2	9.4	8.0	–	–	12.0	11.0
الهستيدين	5.1	3.3	2.4	1.6	1.6	5.0	5.0
الايزوليوسين	9	5.9	4.5	5.3	5.3	9.0	8.0
الليوسين	14.7	9.9	8.4	6.6	6.6	16.0	13.0
اللايسين	11	7.4	6.6	7.3	7.3	12.5	10.0
ميثايونين + السيستين	9.2	6.2	4.5	5.5	4.6	9.2	8.0
فينايل الانين+ تايروسين	15.8	10.8	8.0	7.0	7.0	15.8	14.0
التريونين	7.4	4.9	4.2	3.5	3.5	8.0	6.5
التريبتوفان	2.0	1.4	1.2	11.4	1.4	2.3	1.9
الفالين	10.4	6.6	5.3	5.3	10	9.0	
المعادن الكبرى (جم/كجم)							
الكالسيوم	10	12	8	35	33	12	10
الفوسفور(المتيسر)	5	5	5	5	5	5	5
الماغنيسيوم	0.3*	0.3*	0.3*	0.3*	0.3*	0.3*	0.3*
الصوديوم	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
البوتاسيوم	3.0	–	–	–	–	3.0	3.0
المعادن الصغرى (ملجم/كجم)							
النحاس	*3.5	*3.5	*3.5	*3.5	*3.5	*3.5	*3.5
اليود	*0.4	*0.4	*0.4	*0.4	*0.4	*0.4	*0.4
الحديد	*80	*80	*80	*80	*80	*80	*45
المنجنيز	*100	*100	*100	*100	*100	*100	*100
الزنك	*50	*50	*50	*50	*50	*50	*50
السيلينيوم	0.15	–	–	–	–	0.15	0.15
الفيتامينات (وحدة عالمية/كجم)							
A	*2000	*2000	*2000	*6000	*6000	*2000	*2000
D_3	*600	*600	*600	*800	*800	*600	*600
E	*25	*25	*25	*25	*25	*25	*25
الفيتامينات (ملجم/كجم)							
K	*1.3	*1.3	*1.3	*1.3	*1.3	*1.3	*1.3
الثايامين	3	–	–	–	2	3	–
الرايبوفلافين	*4	*4	*4	*4	*4	*4	*4
حمض النيكوتين	*28	*28	*28	*28	*28	*28	*28
حمض البانتوثينك	*10	*10	*10	*10	*10	*10	*10
الكولين	1300	–	–	–	1100	1300	1300
فيتامين B_{12}	–	–	–	–	0.01	–	–

* على هيئة إضافة

يتبع جدول 10 2.10 الرومي (التركي)

المكوّن	الكتاكيت النامية			رومي التربية
	0–6 أسبوع	6–12 أسبوع	12 أسبوع وأكثر	
الطاقة الايضية (ميجاجول/كجم)	12.6	11.9	11.9	11.3
البروتين الخام(جم/كجم)	300	260	180	160
الاحماض الامينية(جم/كجم)				
الآرجينين	16	13	8	5
الجلايسين+ السيرين	9	–	7	–
الهستيدين	6	5	3.5	2
الايزوليوسين	11	10	5.5	5.5
الليوسين	19	15	8	7
اللايسين	17	13	8	7.5
ميثايونين + السيستين	10	8	6	5.5
فينايللانين + تايروسين	16	15	10	8
الثريونين	10	9	5.5	4
التريبتوفان	2.6	2.3	1.5	1.7
الفالين	12	10	6	5
المعادن الكبرى (جم/كجم)				
الكالسيوم	9	10	8	30
الفوسفور(المتيسر)	4.5	5	4	5
الماغنيسيوم	0.36*	0.36*	0.36*	0.30*
الصوديوم	1.75	1.75	1.75	1.75
البوتاسيوم	–	–	–	–
المعادن الصغرى (ملجم/كجم)				
النحاس	*4.2	*4.2	*4.2	*3.5
اليود	*0.48	*0.48	*0.48	*0.40
الحديد	*0.96	*0.96	*0.96	*0.80
المنجنيز	*120	*120	*120	*100
الزنك	*60	*60	*60	*50
السيلينيوم	0.25	0.15	0.15	–
الفيتامينات (وحدة عالمية/كجم)				
A	*12000	*12000	*12000	*10000
D_3	*1800	*1800	*1800	*1500
E	*36	*36	*36	*30
الفيتامينات (ملجم/كجم)				
K	*4.8	*4.8	*4.8	*4.0
الثايامين	*4.8	*4.8	*4.8	*4.0
الرايبوفلافين	*12	*12	*12	*10
حمض النيكوتين	*60	*60	*60	*50
حمض البانتوثينك	*19.2	*19.2	*19.2	*16
البايريدوكسين	*6	*6	*6	*5
البيوتين	*0.12	*0.12	*0.12	*0.1
حمض الفوليك	*2.4	*2.4	*2.4	*2.0
فيتامين B_{12}	*0.024	*0.024	*0.024	*0.02
الكولين	1760	–	–	1350

* على هيئة إضافة

جدول 11 المخصصات المائية لحيوانات المزرعة 1.11 الأبقار والأغنام

النوع	كجم ماء/كجم مأكول من المادة الجافة درجة الحرارة البيئية (o م)		
	اقل من 16	من 16 إلي 20	أكثر من 20
الأبقار:			
العجول، حتي عمر 6 أسابيع	7.0	8.0	9.0
الأبقار، النامية أو البالغة، الحوامل أو غير الحوامل	5.4	6.1	7.0
الأغنام:			
الحملان، حتي عمر 4 اسليبع	4.0	5.0	6.0
الأغنام، النامية أو البالغة، غير الحوامل	2.0	2.5	3.0
النعاج، منتصف الحمل، حاملة بتوائم	3.3	4.1	4.9
النعاج، نهاية الحمل، حاملة بتوائم	4.4	5.5	6.6
النعاج، الحلوب، الشهر الأول	4.0	5.0	6.0
النعاج، الحلوب، الشهر الثاني والثالث	3.0	3.7	4.5

2.11 الأبقار الحلوب (600 كجم وزن حي)

إنتاج اللبن (كجم/يوم)	التناول اليومي للماء (كجم / يوم) درجة الحرارة البيئية (o م)		
	اقل من 16	من 16 إلى 20	أكثر من 20
10	81	92	105
20	92	104	119
30	103	116	133
40	113	128	147

3.11 الخنازير

التناول اليومي للماء (كجم / رأس)	
الخنازير النامية	1.5 – 2.0 عند 15 كجم وزن حي ، ويزداد إلي 6.0 عند 90 كجم وزن حي
الإناث غير الحوامل	5.0
الإناث الحوامل	8.0 – 5.0
الإناث الحلوب	20.0 – 15.0

جدول 12 قيم للأوزان الحية الأيضية لأوزان تصل إلى 690 كجم وبفترات فاصلة قدرها 10 كجم

المئات	العشرات									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	5.6	9.5	12.8	15.9	18.8	21.6	24.2	26.8	29.2
100	31.6	34.0	36.3	38.5	40.7	42.9	45.0	47.1	49.1	51.2
200	53.2	55.2	57.1	59.1	61.0	62.9	64.8	66.6	68.4	70.3
300	72.1	73.9	75.7	77.4	79.2	80.9	82.6	84.4	86.1	87.8
400	89.4	91.1	92.8	94.4	96.1	97.7	99.3	100.9	102.6	104.2
500	105.7	107.3	108.9	110.5	112.0	113.6	115.1	116.7	118.2	119.7
600	121.2	122.7	124.2	125.7	127.2	128.7	130.2	131.7	133.2	134.6

مراجع الملحق

1. ADAS 1986 *Feeding by-products to pigs*. Leaflet P3057. Alnwick, Northumberland. MAFF (Publications).

2. ADAS 1986 *Feeding by-products to pigs*. Leaflet P3060. Alnwick, Northumberland. MAFF (Publications).

3. AFRC 1990 Technical Committee on Responses to Nutrients, Advisory Booklet, *Nutrient Requirements of Sow and Boars*, UK, HGM Publications.

4. AFRC 1990 Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. 6, A reappraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle. *Nutrition Abstracts and Reviews* (Series B) 61, 573-612.

5. AFRC 1993 Technical Committee on Responses to Nutrients, *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. An advisory manual. Waalingford, UK, CAB International.

6. Agricultural Research Council, London, 1975 The *Nutrient requirements of Farm Livestock: No. 1, Poultry*. Farnham Royal, UK, Commonwealth Agricultural Bureaux.

7. Agricultural Research Council, London, 1980 The *Nutrient requirements of Farm Ruminants Livestock*. Farnham Royal, UK, Commonwealth Agricultural Bureaux.
8. Agricultural Research Council, London, 1981 The *Nutrient requirements of Pigs*. Farnham Royal, UK, Commonwealth Agricultural Bureaux.

9. Black H, Edwards S, Kay M and Thomas S 1991 *Distillery By-Products as Feeds for Livestock*. Aberdeen, The Scottish Agricultural College.

10. Bolton W and Blair R 1977 *Poultry Nutrition*,4th edn. MAFF Bull. No. 174. London, HMSO.

11. Close M H 194 Feeding new genotypes: establishing amino acid/energy requirements. In *Principles of Pig Science* (Wiseman, J, Cole D J A and Varley, M A,eds), UK, Nottingham University Press, pp. 123-140.

12. MAFF 1990 UK *Tables of Nutritive Values and Chemical Composition of Feedingstuffs,* Aberdeen, Rowett Research Institute.

13. National Academy of Sciences – National Research Council 1984 *Nutrient Requirements of Poultry*, Washington, DC.

14. Poultry Research Centre 1981 *Analytical Data of Poultry Feedstuffs*, 1. General and Amino Acid Analysis, 1977- 1980. Occasional Publication No. 1, Roslin, UK, PRC.

15. Poultry Research Centre 1982 *Energy Values of Compound Poultry Feeds*. Occasional Publication No. 2, Roslin, UK, PRC.

16. Stranks, M H, Cooke B C, Fairbairn, C B, Fowler N G, Kirby P S, McCracken K J, Morgan C A, Palmer F G and Peers D 1988 Nutrient allowance for growing pigs. *Research and development in Agriculture*, 5, 71- 88.

17. Whittemore, C T 1993 *The Science and practice of Pig Production*. Longman, UK, Harlow.


جامعة عمر المختار البيضاء
1961
OMAR AL-MUKHTAR UNIVERSITY - LIBYA
منشورات جامعة عمر المختار - البيضاء
2022